

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a
informatiky
Katedra elektroenergetiky

Rekonstrukce přívodů rozvodny Válcovna AB 6 kV
v Třineckých železárnách, a. s.

Power Supply Lines Reconstruction of Substation
Valcovna AB 6 kV in Trinecke zelezarny

Zadání diplomové práce

Student:

Ing. Marek Schulhauser

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

**Rekonstrukce přívodů rozvodny Válcovna AB 6 kV v Třineckých
železárnách, a. s.
Power Supply Lines Reconstruction of Substation Valcovna AB 6 kV in
Trinecke zelezarny**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor průmyslových rozvodů
2. Teoretický rozbor ochrany a jistění, teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů
3. Popis současného stavu rozvodny Válcovna AB 6 kV
4. Rekonstrukce přívodních polí rozvodny Válcovna AB 6 kV (výměna výkonových transformátorů a vypínačů)
5. Posílení přívodních kabelů 22 kV a ověření zkratové odolnosti v rozvodně Válcovna AB
6. Ověření nastavení elektrických ochrany v rozvodně T2 22 kV

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Janíček, F., Chladný, V. a kol.: Digitální ochrany v elektrizační soustavě. STU Bratislava, 2004.
2. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex, Ostrava, 2008.
3. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
4. Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
5. Pauza, J., Krychtánek, Z.: Elektrické stanice. SNTL Praha, 1989.
6. ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Květen 2002.
7. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
8. Firemní literatura a katalogy, technická dokumentace rozvodny vn.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Třinci 5. května 2014

Marek Schulhauser


.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za pedagogickou a odbornou pomoc při vypracování této práce.

Ing. Marek Schulhauser
Beskydská 700
739 61 Třinec – Lyžbice

Vážený pan
Ing. Jan Čepec
technický ředitel
ENERGETIKA TŘINEC, a. s.
Průmyslová 1024
739 65 Třinec – Staré Město

Třinec 10. května 2013

Žádost o prohlášení zástupce spolupracující právnické osoby

Vážený pane technický řediteli,

dovoluji si Vás zdvořile požádat o prohlášení, že firma souhlasí s tématem zadání mé diplomové práce a poskytne mi potřebné podklady. Rovněž případnou odbornou pomoc a zařízení k jejímu naplnění.

Obracím se na Vás se žádostí, z výše uvedených důvodů svého studia:

Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Oborová katedra: Katedra elektroenergetiky (410)
Studijní program: Elektrotechnika
Studijní obor: Elektroenergetika.

Diplomovou práci na téma: Rekonstrukce přívodů rozvodny Válcovna AB 6 kV v Třineckých železárnách, a. s., budu zpracovávat ve školním roce 2013 – 2014.

S Vaším laskavým dovořením mi umožněte naplnit další požadavek:

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

Za vyřízení mé záležitosti Vám upřímně děkuji.

S pozdravem

Souhlasím:
Ing. J. 15.5.13

Marek Schulhauser

Souhlasím 49 W ET
20.5.13 J. J. J.

Abstrakt

Předmětem diplomové práce „Rekonstrukce přívodů rozvodny Válcovna AB 6 kV v Třineckých železárnách, a. s.“ je zjištění stávajícího stavu a návrh nového řešení dle požadavků zadavatele. Součástí rekonstrukce je výměna tří výkonových transformátorů, kabelového vedení a rekonstrukce přírodních kobek. Po teoretickém rozboru průmyslových rozvodů, zkratů, ochran byly navrženy nové výkonové transformátory a kabelové vedení. Dále byly ověřeny zkratové poměry, nakreslené jednopólové schéma rozvodu T2 22 kV a Válcovna AB 6 kV, návrh protokolu prostředí, vzorové zapojení řídicí skříně přírodní kobky, návrh přírodní kobky, situace rozvodny a kabelových tras. Výpočty zkratových proudů byly ověřeny ve skriptovacím jazyku Python.

Klíčová slova

impedance, zkratový proud, průmyslové rozvody, ochrany, vn rozvodna, kabelové vedení, Python

Annotation

The subject of the thesis "Power Supply Reconstruction of Substation Valcovna AB 6 kV in Trinecke zelezarny" is to analyze the present state and to design new solutions according to client requirements. Part of the reconstruction is the replacement of three power transformers, cable management and the reconstruction of incoming substation cells. After the theoretical analysis of industrial distribution, short-circuit current and protection device were proposed new power transformers, cable management. In addition, short-circuit conditions were verified and single-line diagrams of substations T2 22 kV and Valcovna AB 6 kV, draft of environment protokol, exemplary controlling switchboard, design of incoming substation cells, site drawing of substation and cable lines were drawn. Short-circuit current calculations were verified in the scripting language Python.

Keywords

impedance, short-circuit current, industrial distribution, protection devices, high voltage substation, cable lines, Python

Seznam použitých symbolů a zkratk

A – Počáteční hodnota stejnosměrné složky $i_{d.c.}$
 c – Napěťový součinitel
 c_{\min} – Napěťový součinitel pro výpočet minimálních zkratových proudů
 c_{\max} – Napěťový součinitel pro výpočet maximálních zkratových proudů
 f – Kmitočet
 I_b – Souměrný zkratový vypínací proud (efektivní hodnota)
 I_k – Ustálený zkratový proud (efektivní hodnota)
 I''_k – Počáteční souměrný rázový zkratový proud (efektivní hodnota)
 I_{th} – Ekvivalentní oteplovací zkratový proud
 $i_{d.c.}$ – Stejnosměrná složka zkratového proudu
 i_p – Nárazový zkratový proud
 m – Činitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky
 n – Činitel pro tepelné účinky střídavé složky
 P_{krT} – Jmenovité ztráty nakrátko transformátoru
 R – Rezistance
 S''_k – Počáteční souměrný rázový zkratový výkon
 T_k – Doba trvání zkratového proudu
 U_n – Jmenovité napětí soustavy, sdružené (efektivní hodnota)
 u_{kr} – Jmenovité napětí nakrátko transformátoru v procentech
 u_{kR} – Napětí nakrátko reaktoru omezující zkrat v procentech
 X – Reaktance
 Z – Impedance
 Z_k – Zkratová impedance trojfázové střídavé soustavy
 κ – Součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu
 ρ – Rezistivita

Dolní indexy

G - Generátor
k – Trojfázový zkrat
k1 – Jednofázový zkrat
k2 – Dvoufázový zkrat izolovaný
k2E – Dvoufázový zemní zkrat
k3 – Trojfázový zkrat
kE2E – Dvoufázový zemní zkrat
Q – Bod připojení nadřazené soustavy
T – Transformátor

Obsah

Úvod.....	9
1. Představení společnosti.....	10
2. Teoretický rozbor průmyslových rozvodů.....	11
2.1 Zásady a členění průmyslových rozvodů.....	11
2.2 Požadavky na průmyslové rozvody.....	12
2.3 Druhy rozvodů.....	14
2.4 Požadavky na velikost napájení.....	16
3. Teoretický rozbor ochrany a jištění, teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů.....	17
3.1 Druhy zkratů.....	17
3.2 Teoretický výpočet zkratových proudů.....	19
3.3 Teoretické výpočty impedancí.....	27
3.4 Ochrany a jejich rozdělení.....	30
4. Popis současného stavu rozvodny Válcovna AB 6 kV.....	33
5. Rekonstrukce přírodních polí rozvodny Válcovna AB 6 kV.....	37
5.1 Postup při návrhu rekonstrukce.....	37
5.2 Návrh protokolu o určení vnějších vlivů.....	38
5.3 Výběr transformátorů.....	43
5.4 Rekonstrukce přírodních kobek rozvodny Válcovna AB 6 kV.....	48
6. Posílení přírodních kabelů 22 kV a ověření zkratové odolnosti v rozvodně Válcovna AB.....	50
6.1 Výběr kabelů a výpočet jejich parametrů.....	50
6.2 Výpočet úbytku napětí na vedení.....	52
6.3 Zkratové poměry v rozvodně T2 22 kV.....	53
6.4 Zkratové poměry v rozvodně Válcovna AB 6 kV.....	56
6.5 Výpočty zkratových poměrů ve skriptovacím jazyku Python.....	65
6.6 Výběr nadproudové ochrany.....	66
6.7 Nastavení nadproudových ochran.....	67
6.8 Výběr srovnávací ochrany.....	71
7. Ověření nastavení elektrických ochran v rozvodně T2 22 kV.....	74
7.1 Stávající nastavení nadproudových ochran.....	74
7.2 Nové nastavení nadproudových ochran.....	76
8. Odhad celkových nákladů na rekonstrukci.....	80
9. Analýza diplomové práce.....	81
10. Závěr.....	82
11. Seznam použité literatury a zdrojů.....	83
12. Seznam příloh.....	86

Úvod

Tématem práce je rekonstrukce přívodu rozvodny Válcovna AB 6 kV, která je situovaná v areálu Třineckých železáren, a. s. Rozvodna Válcovna AB je v běžném provozu napájena z rozvodny T2 22 kV. Rozvodny jsou propojeny třemi kabelovými propoji na hladině 22 kV. Z důvodu bezpečnosti jsou tyto propoje vedeny ve dvou trasách. V objektu rozvodny Válcovna AB jsou na úrovni +1,00 m umístěné výkonové transformátory, z nichž dva jsou využité pro napájení rozvodny v běžném provozu a jeden transformátor je rezervní. Stávající výkonové transformátory jsou 16 MVA a mají napěťový převod 22 kV na 6,3 kV. Ostatní transformátory umístěné v této rozvodně jsou určené pro převod na napěťovou hladinu nn. Na úrovni +9,35 m je situován vývodový prostor vn rozvodny. Na úrovni +13,00 m je umístěná kobková rozvodna 6 kV se 68 kobkami. Rozvodna je dvousystémová.

Téma zadání diplomové práce pochází z firmy ENERGETIKA TŘINEC, a. s. Zadání diplomové práce bylo konzultované se zadavatelem a bylo dále zpřesňováno během zpracování diplomové práce. Předmětem práce jsou pouze tři přívodní kobky. Ostatní kobky rozvodny Válcovna AB 6 kV nejsou předmětem této práce.

V diplomové práci je nejdříve představena společnost ENERGETIKA TŘINEC, a. s. Součástí rekonstrukce rozvodny Válcovna 6 kV je navýšení výkonu tří stávajících výkonových transformátorů z 16 MVA na 25 MVA na přívodu z rozvodny T2 22 kV. Následně je proveden teoretický rozbor průmyslových rozvodů, rozbor ochrany, jištění, zkratových proudů a teoretický rozbor jejich výpočtů. Dále je popsán stávající stav rozvodny Válcovna AB 6 kV a je navržen způsob rekonstrukce tří přívodních kobek (řídící skříně, úpravy v kobce s výměnou odpojovačů, vypínače a měřících transformátorů), včetně výpočtů nových přívodních kabelů 22 kV z rozvodny T2 22 kV. V rozvodně T2 22 kV je navržené nové nastavení ochrany. Pro ověření technických výpočtů zkratů byl použit skriptovací jazyk Python.

1. Představení společnosti

Společnost s obchodním názvem ENERGETIKA TŘINEC, a. s. vznikla vyčleněním divize Energetika z hutního podniku Třinecké železářny, a. s. dne 3. ledna 1994. Jediným akcionářem ENERGETIKA TŘINEC, a. s. jsou v současné době TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY, a. s. s podílem 100 % na základním kapitálu, který činí 1 680 000 000 Kč. Společnost má sídlo v Třinci – Staré Město 1024, PSČ 739 65.

Hlavní činností akciové společnosti je výroba, distribuce a prodej elektrické energie, technologické páry, horké vody, dmýchaného vzduchu, průmyslové, pitné a koupelenské vody, distribuce a úprava topných plynů získaných jako vedlejší produkt při hutní výrobě a distribuce zemního plynu. Společnost zajišťuje distribuci energie a medií především pro technologie hutní výroby a navazující strojní výrobu, dále pak společností sídlícím v areálu Třineckých železáren a pro město Třinec a přilehlé okolí zajišťuje dodávky tepla.[1]

Společnost má dva provozy:

Provoz tepelná energetika – distribuce topných plynů, pitné a koupelenské vody, topných olejů, stlačeného vzduchu a horké vody pro účely vytápění v areálu i mimo areál hutního podniku.

Provoz teplárny – výroba a distribuce elektrické energie, technologické páry, dmýchaného vzduchu a výroba horké vody a stlačeného vzduchu. [1]

Výroba elektrické energie:

Teplárna E2 – dva turbogenerátory s celkovým instalovaným elektrickým výkonem 39,5 MW

Teplárna E3 – čtyři turbogenerátory s celkovým instalovaným elektrickým výkonem 62 MW

Vybrané ukazatele hospodářských výsledků v roce 2012:

instalovaný elektrický výkon:	101,5 MW
výroba elektrické energie:	652 GWh
nakoupená elektrická energie:	271 GWh
instalovaný tepelný výkon:	558 MWt
výroba tepla:	11666 TJ
zaměstnanci:	370 osob

Struktura tržby v roce 2012:

elektrická energie	54 %
dmýchaný vzduch	11 %
prodej plynů	9 %
teplá voda	5 %
pára	5 %
ostatní	16 %

2. Teoretický rozbor průmyslových rozvodů

2.1 Zásady a členění průmyslových rozvodů

Průmyslové rozvody jsou rozvody elektrické energie ve výrobních závodech. Můžou být napojené na vnější rozvodné soustavy ve více místech a to jak venkovním vedením, tak kabely.

Rozčlenění průmyslových závodů podle potřeby velikosti napájení:

Malé průmyslové závody – mají jednu trafostanici vn/nn s nanejvýš dvěma transformátory 1 MVA.

Středně velké průmyslové závody – mají obvykle jednu trafostanici s příkonem nad 2 MVA.

Velké průmyslové podniky – mají několik vstupních trafostanic a několik hlavních rozvodů umístěných v blízkosti velkých odběrů. V rozlehlých průmyslových areálech se umísťují rozvodny do podružných trafostanic. Tyto rozvodny je možné napájet přímo paprskovými rozvody nebo zálohově z okružních rozvodů. [2]

Zásady pro budování trafostanic v průmyslových rozvodech:

- Trafostanice se budují v místech s největší spotřebou. U rozsáhlých hal můžeme použít vysunuté transformátory (6/0,5 kV nebo 6/0,4 kV) umístěné v těsné blízkosti spotřebičů.
- U venkovních vedení zohledňujeme předepsané ochranné vzdálenosti i s ohledem na budoucí výstavbu. U kabelových vedení upřednostňujeme energomosty. Umožňují snadnější výměnu nebo posílení kabelového propojení.
- Minimalizovat náklady na příjezdové cesty k rozvodně. Co nejvíce využít cest k jiným průmyslovým objektům. Nechat volný venkovní prostor pro manipulaci při výměně transformátorů a vnitřní prostor pro možné navýšení výkonu. [2]

Důvody modernizace průmyslových rozvodů: nahrazení zastaralých zařízení a zařízení s již nevyhovující bezpečností, navýšení výkonů jednotlivých provozů. Změna odběru v jednotlivých místech při změně technologie. Při modernizaci jsou na zařízení kladeny tyto požadavky: zvýšení provozní spolehlivosti, prodloužení doby mezi dvěma revizemi, využití řídicích systémů a účelná minimalizace rozměrů.

Napětí používaná v průmyslových rozvodech:

110 kV, 22 kV – přívody pro vstupní trafostanice

22 kV, 6 kV, (10, 35 kV) – přívody pro podružné trafostanice

0,5 kV, 0,4 kV, (0,69 kV) – nízkonapětové rozvody

Používané napětové soustavy:

pro 110 kV: 3/PE 50 Hz 110 kV/TT

pro ostatní vn napětové úrovně soustavu IT: 3/PE 50 Hz 22 kV /IT, 3/PE 50 Hz 6 kV /IT

Nejčastěji používané napětové soustavy pro nízkonapětové rozvody v průmyslu:

3/PE AC 500 V / IT

3/PEN AC 400V /TN-C

3/NPE AC 230/400 V /TN-S

Technologie rozčlenění průmyslových rozvodů [2]

- vstupní trafostanice (vvn/vn, vn/vn)
- hlavní rozvodna vn
- podružné spínací rozvodny vn
- vysunuté transformátory vn/nn
- trafostanice vn/nn
- rozvody vn
- rozvody nn
- rozvody MaR, signalizace a ovládání
- velíny
- akumulátorovny
- rozvody jiných medií

Druhy elektrických stanic

Transformovna – mění se napětí při zachování frekvence

Spínací stanice – rozvádí napětí bez změny napětí a frekvence

Měnič – změna druhu proudu nebo frekvence (usměrňovací nebo střídací stanice)

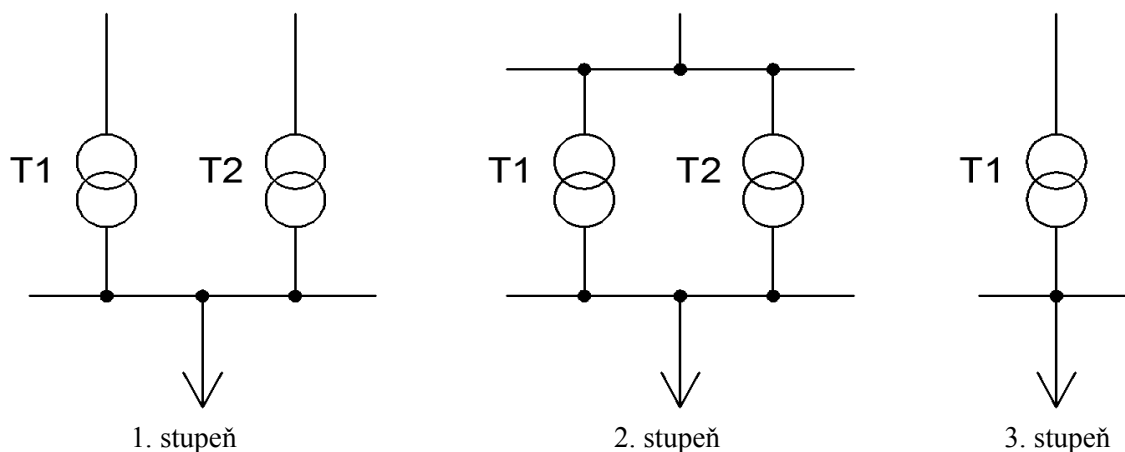
Kompenzovna – změna parametrů napětí a proudu za účelem kompenzace jalových složek střídavého proudu

2.2 Požadavky na průmyslové rozvody

1) Bezpečnost – vyloučení nahodilého i neúmyslného dotyku živých částí, porucha nesmí způsobit úraz, zařízení musí být navrženo tak, aby svým provozem nezpůsobilo materiální škodu.

2) Provozní spolehlivost – elektrická energie musí být dodána na místo spotřeby ve stanoveném množství, čase, v kvalitě. Z důvodu dodržení provozní spolehlivosti dodávky elektrické energie může vyvstat požadavek záložního zdroje energie.

1. stupeň důležitosti spotřeby – požadavek: záložní, nezávislý zdroj elektrické energie
2. stupeň důležitosti spotřeby – požadavek: záložní napájení
3. stupeň důležitosti spotřeby – požadavek: nemusí být zajištění záložním napájením



Obr. 1 Stupně důležitosti spotřeby

3) Přehlednost provozu – uspořádání rozvodných zařízení, signalizace stavu a poruch, způsob ovládání.

4) Hospodárnost provozu – účinnost rozvodu, volba druhu vedení a jejich průřez, trasy rozvodů, umístění stanic, podmínky plánovaného a neplánovaného odběru, kompenzace účinníku.

5) Poruchovost provozu – minimalizace poruch, schopnost selektivně odpojit poruchu od napájení, rychlost detekce poruchy a určení její příčiny.

6) Přizpůsobitelnost provozu – možnost reagovat na nové požadavky odběru elektrické energie, navýšení, změna parametrů, změna místa a důležitosti spotřeby.

7) Estetické a prostorové požadavky – venkovní a kabelové rozvody, způsoby uložení kabelů, výšky sloupů, sdružení kabelových tras.

Silnoproudý rozvod – soubor vodivých cest elektrické energie od zdrojů ke spotřebičům. Lze rozdělit na přenosové cesty, tj. vodiče a uzlová rozvodná zařízení, tj. rozvodny a rozváděče.

Transformátor – elektrický netočivý stroj, umožňující ve střídavých obvodech snižovat nebo zvyšovat napětí

Hlavní transformátory elektráren [2]

- blokový transformátor – přímo spojený s generátorem, jeho výkon se odvíjí od výkonu generátoru, jejich počet je shodný s počtem generátorů,

- spojovací transformátor – rezerva pro případ výpadku generátoru, jeho výkon se určuje od výkonu největšího generátoru.

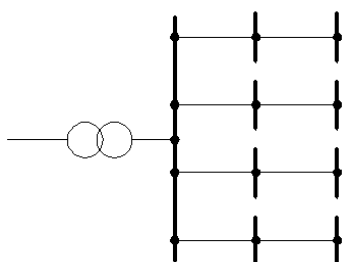
Transformátor vlastní spotřeby elektráren – zajišťují napájení technologie elektrárny, jejich výkon je dán spotřebou technologických zařízení.

Síťový transformátor – je určen pro napájení sítě, jejich výkon bývá větší než výkon blokových transformátorů, jejich napětový převod menší.

2.3 Druhy rozvodů

– podle místních podmínek, velikostí, počtů, důležitostí a umístění zdrojů a spotřebičů.

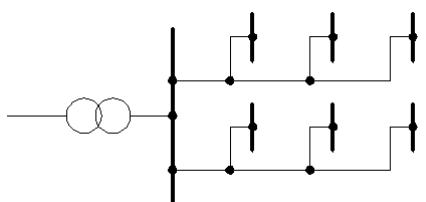
Paprskový rozvod



- Je nejjednodušší a lze ho realizovat s nejnižšími náklady. Je nejméně spolehlivý, neumožňuje zálohovat přívod. Jednotlivé paprsky nejde vzájemně spojovat. Použití: tam kde rozhodují náklady na realizaci, malé vesnice, průmyslové objekty bez požadavku na zálohování přívodů, stupeň důležitosti spotřeby 1.

Obr. 2a Paprskový rozvod

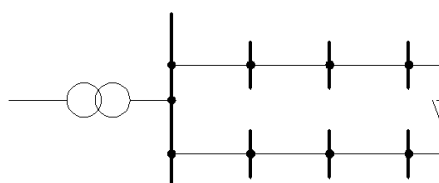
Průběžný rozvod



- Je jednoduchý, málo spolehlivý bez možnosti zálohovat přívod, je založen na dlouhém vedení s velkým úbytkem napětí. Použití: osvětlení komunikací a liniových staveb, dlouhé průmyslové haly a vedení na vzdálená místa.

Obr. 2b Průběžný rozvod

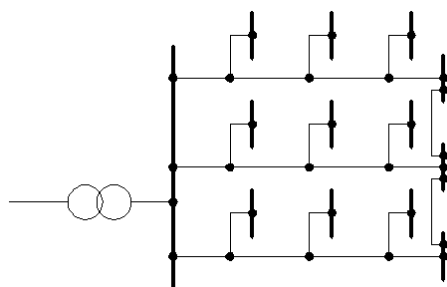
Okružní rozvod



- Je možné napájení ze dvou stran, při běžném provozu je obvykle rozvod rozpojen na dva paprsková vedení. Použití: spotřebiče s 2. stupněm důležitosti spotřeby, větší průmyslové haly, bytová a administrativní zástavba.

Obr. 2c Okružní rozvod

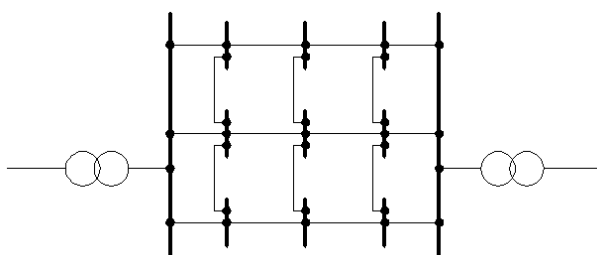
Hřebenový rozvod



- Je možné přívod zálohovat z druhé strany. Při běžném provozu je rozvod rozpojen na jednotlivé paprsky.
Použití: větší průmyslové objekty, bytová a administrativní zástavba, možnost napájet spotřebiče s 2. stupněm důležitosti spotřeby.

Obr. 2d Hřebenový rozvod

Mřížový rozvod



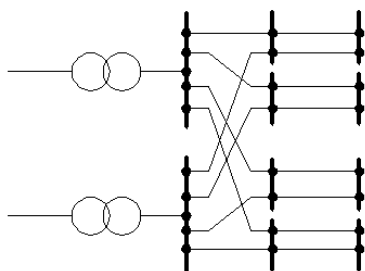
- Je napájený z více míst, má vysokou variabilitu, má provozní spolehlivost, je použitelný pro stupeň spotřeby 1, má vysoké náklady na výstavbu, některé propoje mají malé využití. Menší úbytky napětí, větší zkratové proudy. Musí se ošetřit proti zpětnému napájení místa poruchy.

Použití: městská a průmyslová zástavba, lze rozpojit na jednotlivá paprsková nebo okružní vedení.

Obr. 2e Mřížový rozvod

Jednotlivé typy rozvodů lze kombinovat a vytvořit požadované zapojení, například dvoupaprskový rozvod.

Dvoupaprskový rozvod



- Je to kombinace dvou paprskových rozvodů ze dvou nezávislých zdrojů. Zdroje mohou být využívány paralelně, nebo každý z přívodů je využit pro část vývodů z hlavních rozváděčů, nebo jeden přívod je hlavní a druhý je záložní a je v hlavních rozváděčích odpojený.

Použití: napájení spotřebičů 1. stupně důležitosti dodávky, pro velké průmyslové podniky, elektrárny a nemocnice.

Obr. 2f Dvoupaprskový rozvod

2.4 Požadavky na velikost napájení

Instalovaný výkon P_i – součet výkonů všech spotřebičů, definuje maximální možný odběr

$$P_i = \sum P_n \quad (2.1)$$

k_s – činitel současnosti, všechny spotřebiče nepracují současně, definuje poměr mezi zapnutými a instalovanými spotřebiči

$$k_s = \frac{\sum P_{ns}}{P_i} \quad (2.2)$$

P_{ns} – jmenovitý výkon současně připojených spotřebičů

Činitel zatížitelnosti k_z – všechny spotřebiče nepracují s jmenovitým výkonem, určujeme poměrné zatížení současně připojených spotřebičů

$$k_z = \frac{\sum P_s}{\sum P_{ns}} \quad (2.3)$$

P_s – okamžitý výkon současně připojených spotřebičů

Účinnost spotřebičů při daném využití η_m

Účinnost napájecí soustavy ke spotřebiči η_s

Reálné zatížení β – určuje se z vlivů k_s, k_z, η_m, η_s .

$$\beta = \frac{k_s \cdot k_z}{\eta_m \cdot \eta_s} \quad (2.4)$$

Výpočtové zatížení P_v je reálná spotřeba celé skupiny spotřebičů.

$$P_v = \beta \cdot P_i = \beta \cdot \sum P_n \quad (2.5)$$

Podle výpočtového zatížení určujeme velikost napájecího zdroje, vedení, výkon spínacích prvků, výkon měřících přístrojů, nastavení ochran, druh a velikost kompenzačních prostředků. Vychází se ze skutečnosti, že všechny spotřebiče nepracují současně se svým jmenovitým výkonem. Takto určené výpočtové zatížení platí pro provoz se spotřebiči s přibližně stejným výkonem a účinností. V případě řádově rozdílných spotřebičů se vychází jen z hlavních spotřebičů. Činitel náročnosti lze určit výpočtem, z tabulek, norem a odborných materiálů.

3. Teoretický rozbor ochran a jištění, teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů

3.1 Druhy zkratů

Zkrat je bezodporové spojení nejméně dvou bodů obvodu, které měly rozdílný napěťový potenciál. Vzniká poruchovým spojením fází s různým nenulovým potenciálem navzájem, nebo v soustavě s uzemněným uzlem poruchovým spojením fází s uzemněným uzlem. Při zkratu protékají obvodem proudy, které jsou v místě zkratu mnohem větší než provozní proudy. Zkraty jsou doprovázené poklesem napětí. Nejčastější příčinou zkratu je porucha izolace, která může být poškozena mechanicky, přepětím, stárnutím materiálů a přímým úderem blesku. Důsledky zkratu jsou: tepelné účinky, mechanické účinky způsobené dynamickými silami, pokles napětí v blízkosti místa zkratu, přepětí a vznik oblouku při vypínání zkratu.

Základními typy zkratů v trojfázových soustavách jsou: trojfázový zkrat, dvojfázový zkrat, dvojfázový zemní zkrat a jednofázový zemní. Ze základních druhů zkratů můžeme odvodit další. Pokud zkrat neodpojíme od zdroje zkratového proudu působením ochran, které přeruší napájecí cesty, může se změnit jednoduchá porucha na složitější, např. dvojfázový zkrat ve trojfázový, trojfázový zkrat způsobí elektrický oblouk.

Výskyt zkratů:

- trojfázový zkrat - venkovní vedení vvn 1 %
 - kabelové vedení vn 90 %
- dvojfázový zkrat - venkovní vedení vvn 5 %
- jednofázový zkrat - venkovní vedení vvn 92 %

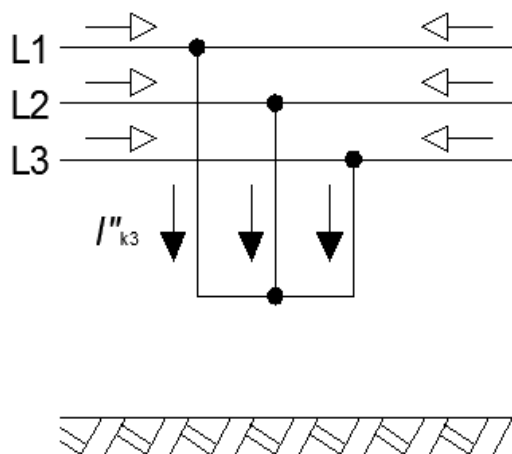
Zkrat elektricky vzdálený

- místo zkratu je elektricky dostatečně vzdálené od zdrojů zkratového proudu, které představují synchronní stroje a podíl asynchronních motorů na zkratovém proudu je zanedbatelný. U elektricky vzdálených zkratů předpokládáme, že souměrné vypínací proudy jsou rovné počátečním rázovým zkratovým podmínkám, což znamená:

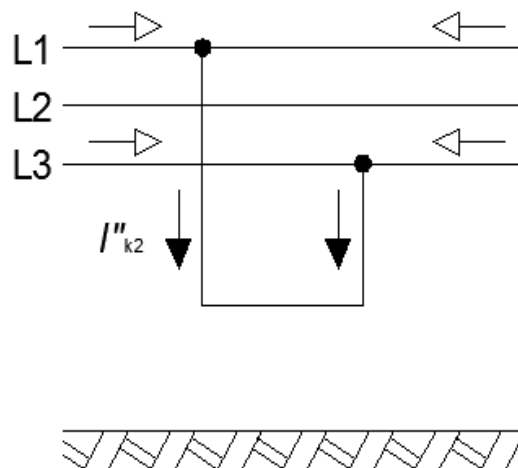
$$I_b = I''_k, I_{b2} = I''_{k2}, I_{b2E} = I''_{k2E}, I_{b1} = I''_{k1} \quad [6] \quad (3.1)$$

Zkrat elektricky blízky

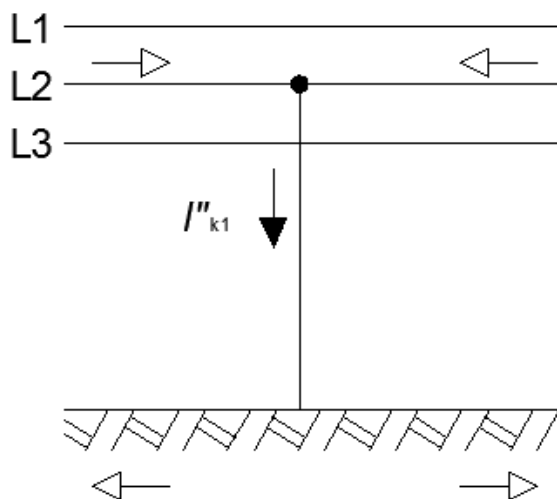
- příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k předpokládanému počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu I''_k je víc než dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo nemůžeme-li zanedbat příspěvek asynchronních motorů. [12]



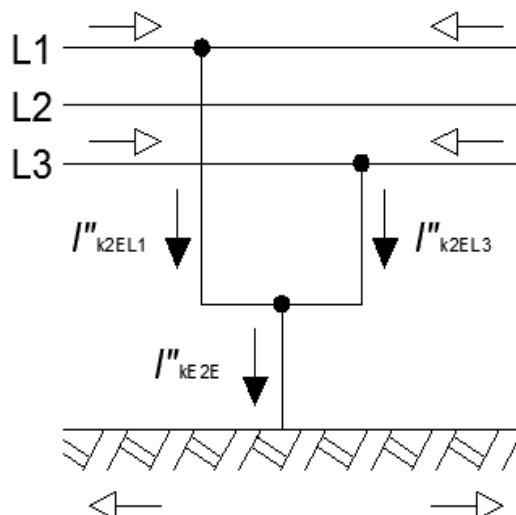
a) Souměrný trojfázový zkrat



b) Dvoufázový zkrat



c) Jednofázový zkrat



d) Dvoufázový zemní zkrat

Obr. 3 Základní druhy zkratů v trojfázové soustavě [6]

Rozdíl mezi zkratem a zemním spojením

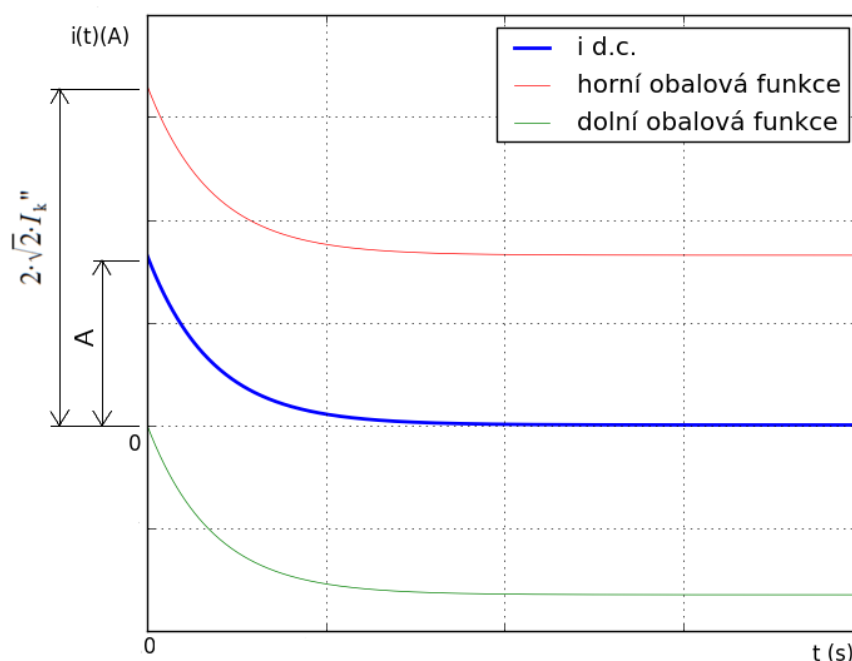
K jednofázovému zkratu nebo k dvojfázovému zemnímu zkratu může dojít, jen když je uzel transformátoru uzemněn přímo, nebo přes malou impedanci $EFF < 1,4$ (koeficient zemního spojení). V soustavách s izolovaným uzlem transformátoru, nebo s uzlem transformátoru uzemněným přes velkou impedanci (např. tlumivkou) při spojení jedné fáze se zemí, dochází k zemnímu spojení, ne ke zkratu. Zemní spojení v soustavách s izolovaným uzlem transformátorům většinou nevypínáme, ale signalizujeme. Po identifikaci poruchy se začíná odstraňovat příčina poruchy tak, aby pokud je to možné, nedošlo k přerušení napájení objektu.

3.2 Teoretický výpočet zkratových proudů

Výpočet skutečných zkratových poměrů může být poměrně složitá záležitost závisící na okamžitých hodnotách mnoha fyzikálních veličin. Proto pro výpočet používáme zjednodušení, které zjednodušujeme v souladu se znalostí vstupních podmínek a účelem výpočtu, pro který je určen. Mluvíme pak o předpokládaném zkratovém proudu a předpokládáme obvod, ve kterém je v místě zkratu spojení se zanedbatelnou impedancí, a že nedošlo ke změně napájení. Zkratové proudy počítáme jako funkci času. Nejčastěji potřebujeme spočítat efektivní hodnotu souměrné střídané složky a nárazový zkratový proud po vzniku zkratu. V případě elektricky vzdáleného zkratu při výpočtu provedeme superpozici stejnosměrné zkratové složky a efektivní hodnoty ustáleného zkratového proudu. Výpočet provádíme z důvodu zjištění zkratových parametrů sítě, abychom mohli zejména posoudit dimenzování elektrického zařízení (vypínače, odpojovače, sběrníkové systémy) s ohledem na dynamické a tepelné účinky zkratových proudů a z důvodu zjištění parametrů pro nastavení jistících zařízení (ochran). Hodnoty zkratových proudů můžeme dále využít mimo jiné pro dimenzování uzemňovacích soustav s ohledem na stanovení dotykových, krokových a zavlčených napětí, kontrole napětových poměrů při zkratech, kontrole stability chodu paralelně zapojených synchronních strojů a kontrole indukovaných napětí ze silových rozvodů do sdělovacích sítí. [12]

V technické praxi nepočítáme přesný průběh zkratového proudu pro všechny jeho možnosti, ke kterým by v daném místě mohlo dojít, ale počítáme jen některé jeho hodnoty:

i_p – nárazový zkratový proud, I''_k – počáteční souměrný rázový zkratový proud a I_{th} – ekvivalentní oteplovací zkratový proud.

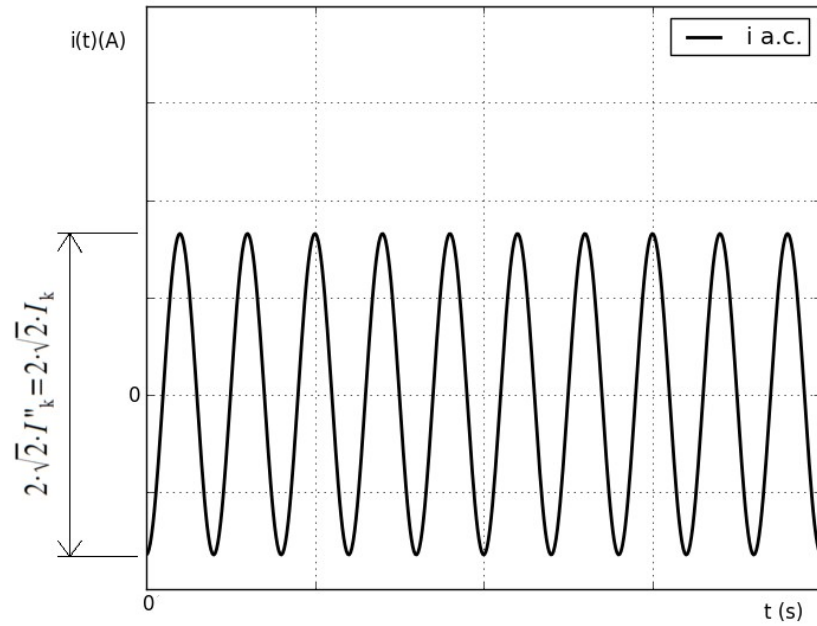


Obr. 4 Stejnosemřná složka zkratového proudu $i_{d.c.}$.

Stejnosemřná (aperiodická) složka zkratového proudu je střední hodnota dolní a horní obalové funkce průběhu zkratového proudu. Stejnosemřná složka exponenciálně klesá ze své počáteční hodnoty A k nule. Nejvyšší hodnoty dosahuje v případě, že v době vzniku zkratu napětí procházelo nulou. Pokud se v daném místě síť nevyskytují příspěvky synchronních strojů a velkých asynchronních motorů, zaniká v čase kolem 0,1 s. Její velikost můžeme určit z velikosti proudu před zkratem a impedance sítě, nebo z velikosti zkratového proudu a poměru reálné a imaginární složky impedance sítě. [12]

Výpočet okamžité hodnoty stejnosemřné složky při zkratových proudech v trojfázových soustavách:

$$i_{d.c.} = \sqrt{2} \cdot I_k'' \cdot e^{-2\pi f t \cdot \frac{R}{X}} \quad [6] \quad (3.2)$$



Obr. 5 Střídavá složka zkratového proudu, počáteční souměrný rázový a ustálený zkratový proud u elektricky vzdáleného zkratu

V trojfázových sítích protéká harmonický proud, který se popisuje vztahem [12]:

$$i_{(t)} = I_m \cdot \sin(100 \cdot \pi + \varphi) \quad \text{pro} \quad \varphi = \{0, +120^\circ, -120^\circ\} \quad (3.3)$$

Okamžitá hodnota střídavé složky:

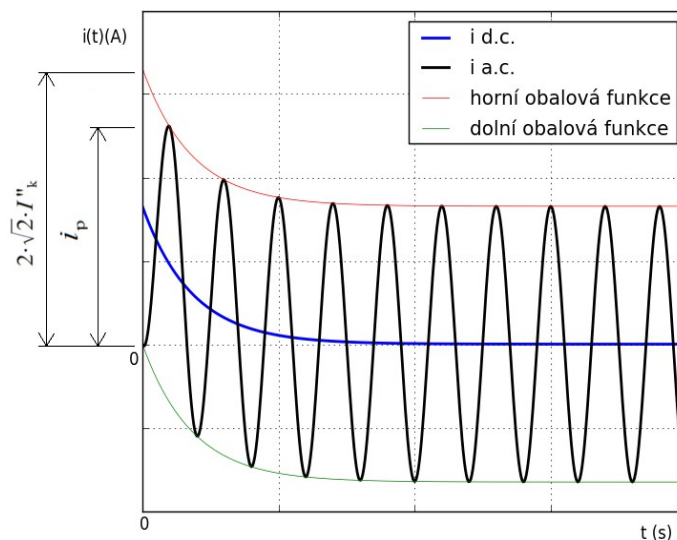
$$i_{a.c.} = \sqrt{2} \cdot I''_k \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \quad (3.4)$$

Efektivní hodnota ustáleného souměrného zkratového proudu:

$$I''_k = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (3.5)$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud I''_k je efektivní hodnota předpokládaného zkratového proudu (střídavá souměrná složka) v okamžiku, kdy došlo ke vzniku zkratu za předpokladu konstantní impedance. Po odeznění přechodového jevu hovoříme o ustáleném zkratovém proudu I_k . V případě elektricky vzdáleného zkratu předpokládáme, že u této složky zkratového proudu nedochází k přechodovému jevu $I''_k = I_k$. Při elektricky blízkém zkratu se velikost střídavé složky mění. Z hodnoty I''_k klesá na hodnotu I_k . Hodnotu ustáleného zkratového proudu získáme pomocí

$$\text{Ohmova zákonu} \quad I = \frac{U}{R} \Rightarrow I = \frac{U}{|Z|} \Rightarrow I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot |Z|}, \text{ jeho hodnota se nemění [12].} \quad (3.6)$$



Obr. 6 Zkratový proud elektricky vzdáleného zkratu, superpozice stejnosměrné a střídavé složky

Nárazový zkratový proud i_p je vrcholová hodnota a je to nejvyšší očekávaná hodnota zkratového proudu, která nastává v čase $t \approx 0,01 \text{ s}$. Vypočítáme ho ze vztahu:

$$i_p = \left(1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3 \cdot R}{X}} \right) \cdot \sqrt{2} \cdot I''_k \quad (3.7)$$

Na obr. 6 je zakreslený elektricky vzdálený zkrat s největším výskytem stejnosměrné složky. Počáteční hodnota stejnosměrné složky je $A = \sqrt{2} \cdot I''_k$. (3.8)

Zkratové proudy s největším výskytem stejnosměrné složky vznikají tehdy, pokud v okamžiku zkratu napětí prochází nulou. V případě, že prochází maximální hodnotou, nedochází k vytvoření stejnosměrné složky. Pro zobrazení zkratového proudu byla použita metoda superpozice, kdy se sčítají okamžité hodnoty stejnosměrné a střídavé složky zkratového proudu.

Při výpočtu zkratových poměrů se používají dvě metody. Metoda ekvivalentního napětového zdroje a metoda superpozice. Metoda superpozice se přednostně používá při výpočtu rozsáhlých přenosových sítí a distribučních sítí. Počítá se většinou elektricky vzdálený zkrat, neuvažuje se o příspěvcích synchronních a asynchronních strojů. Potřebujeme znát ustálený stav před vznikem zkratu. Další metoda výpočtu, která je zmíněná v ČSN EN 60909-0, je metoda ekvivalentního napětového zdroje v místě zkratu. V této metodě se všechny síťové napáječe, synchronní a asynchronní motory nahrazují svými vnitřními impedancemi.

Zkratovou impedanci získáme sčítáním rezistance a reaktance od bodu připojení nadřazené soustavy k místu zkratu. Pro zobrazení průběhu zkratového proudu používám superpozici stejnosměrné a střídavé složky spočítané metodou ekvivalentního napětového zdroje. Metoda ekvivalentního napětového zdroje umístěného v místě zkratu se využívá převážně v průmyslových sítích a u vlastní spotřeby elektráren. Je jednodušší a více standardizovaná. V této práci používám metodu ekvivalentního napětového zdroje v místě zkratu.

V případě jednoduchých elektricky vzdálených zkratů počítáme počáteční souměrný rázový zkratový proud z napětí ekvivalentního napěťového zdroje a zkratové impedance v místě zkratu.

$$R_k = R_{Qt} + R_{TK} + R_L \quad (3.9)$$

$$X_k = X_{Qt} + X_{TK} + X_L \quad (3.10)$$

R_k a X_k je součet sériově zapojených rezistancí a reaktancí nadřazené soustavy, transformátoru a vedení. Při výpočtu maximálních zkratových proudů je R_L rezistance vedení při teplotě vodiče 20 °C.

Počáteční souměrný rázový zkratový proud při trojfázovém zkratu.

$$I''_k = \frac{c U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{c U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (\text{kA}; -, \text{kV}, \Omega) \quad (3.11)$$

Je odvozený z ekvivalentního zdroje napětí $\frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}}$. (3.12)

Počáteční rázový zkratový proud při dvoufázovém izolovaném zkratu.

$$I''_{k2} = \frac{c U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot |Z_k|} \quad (\text{kA}; -, \text{kV}, \Omega) \quad (3.13)$$

Na počátku zkratu je sousledná $Z_{(1)}$ a zpětná $Z_{(2)}$ impedance přibližně shodná, a to pro elektricky blízký i vzdálený zkrat. Uvažuje se $Z_{(1)} = Z_{(2)}$.

Počáteční rázový zkratový proud při jednofázovém zkratu.

$$I''_{k1} = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} \quad (\text{kA}; -, \text{kV}, \Omega) \quad (3.14)$$

c – napěťový součinitel

U_n – efektivní hodnota sdruženého napětí soustavy

Z_k – zkratová impedance trojfázové střídavé soustavy

$Z_{(1)}$ – sousledná impedance zkratového obvodu

$Z_{(2)}$ – zpětná impedance zkratového obvodu

$Z_{(3)}$ – netočivá impedance zkratového obvodu

Počáteční souměrný rázový zkratový proud se počítá z napětí ekvivalentního napěťového zdroje.

Při výpočtu zkratových poměrů potřebujeme znát maximální a minimální hodnoty zkratových proudů. Maximální hodnoty z důvodu dimenzování zařízení a minimální hodnoty z hlediska

nastavení ochran v rozvodech. Tento požadavek můžeme ve výpočtech ošetřit napěťovým součinitelem uvedeným v normě ČSN EN 60909-0. Norma uvádí napěťové součinitele pro výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů pro nízké, vysoké a velmi vysoké napětí.

Napěťový součinitel c pro výpočet zkratových proudů pro nízké napětí 100 V až 1000 V.

$$c_{\min} = 0,95$$

$$c_{\max} = 1,05 \text{ (soustava s tolerancí +6 \%)}$$

$$c_{\max} = 1,10 \text{ (soustava s tolerancí +10 \%)}$$

Napěťový součinitel c pro výpočet zkratových proudů pro vysoké napětí > 1 kV až 35 kV.

$$c_{\min} = 1,00$$

$$c_{\max} = 1,10$$

Napěťový součinitel c pro výpočet zkratových proudů pro velmi vysoké napětí > 35 kV.

$$c_{\min} = 1,00 \text{ (pokud není definované jmenovité napětí, pak } c_{\max} \cdot U_n = U_m)$$

$$c_{\max} = 1,10 \text{ (pokud není definované jmenovité napětí, pak } c_{\min} \cdot U_n = 0,90 \cdot U_m)$$

Nárazový zkratový proud.

$$i_p = \sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I''_k \quad (\text{kA; -, kA}) \quad (3.15)$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{\frac{-3 \cdot R}{X}} \quad (3.16)$$

κ – součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu

I''_k – počáteční souměrný rázový zkratový proud

R – rezistance

X – reaktance

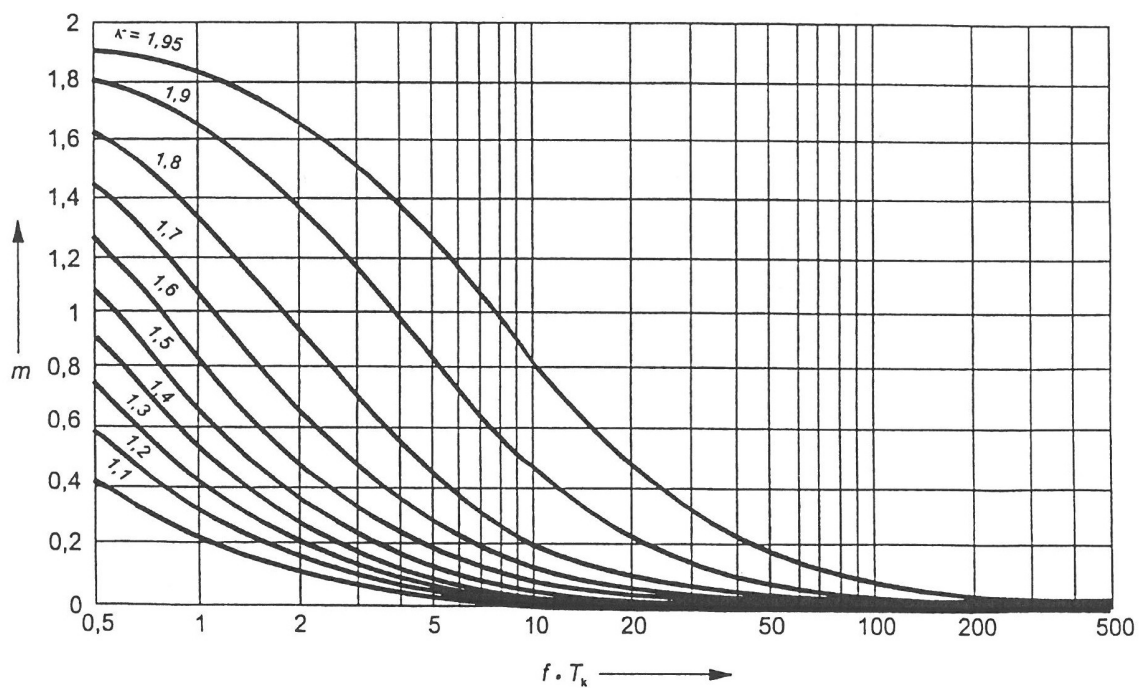
Ekvivalentní oteplovací zkratový proud

$$I_{th} = I''_k \cdot \sqrt{m+n} \quad (\text{kA; -, kA}) \quad (3.17)$$

I''_k – počáteční souměrný rázový zkratový proud

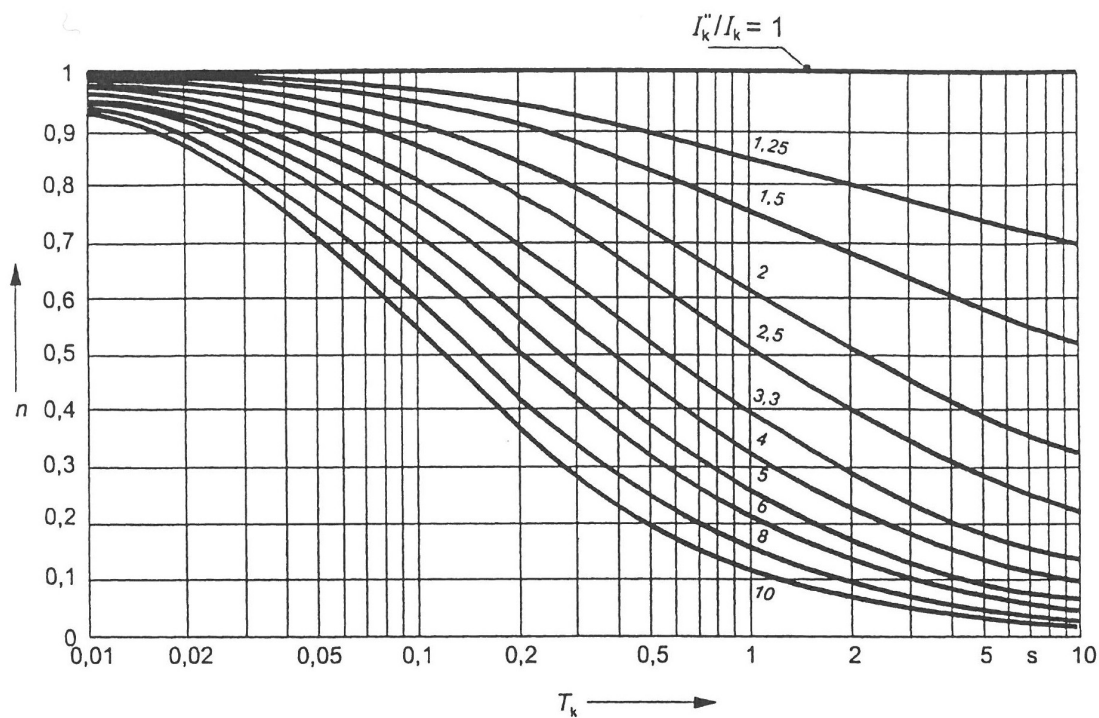
m – činitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky

n – činitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky



Obr. 7 Součinitel m pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu z ČSN EN 60909-0 [6]

$$m = \frac{1}{2 f T_k \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 f T_k \ln(\kappa - 1)} - 1] \quad [6] \quad (3.18)$$



Obr. 8 Součinitel n pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu z ČSN EN 60909-0 [6]

$$n = 1 \text{ když } \frac{I''_k}{I_k} = 1 \quad (3.19)$$

$$n = \frac{1}{\left(\frac{I''_k}{I_k}\right)^2} \left[1 + \frac{T'_d}{20 T_k} \left(1 - e^{-20 \frac{T_k}{T'_d}}\right) \left(\frac{I''_k}{I_k} - \frac{I'_k}{I_k}\right)^2 + \frac{T'_d}{2 T_k} \left(1 - e^{-2 \frac{T_k}{T'_d}}\right) \left(\frac{I'_k}{I_k} - 1\right)^2 + \right. \\ \left. + \frac{T'_d}{5 T_k} \left(1 - e^{-10 \frac{T_k}{T'_d}}\right) \left(\frac{I''_k}{I_k} - \frac{I'_k}{I_k}\right) + \frac{2 T''_d}{T_k} \left(1 - e^{\frac{T_k}{T'_d}}\right) \left(\frac{I'_k}{I_k} - 1\right) + \right. \\ \left. + \frac{T'_d}{5,5 T_k} \left(1 - e^{-11 \frac{T_k}{T'_d}}\right) \left(\frac{I''_k}{I_k} - \frac{I'_k}{I_k}\right) \left(\frac{I'_k}{I_k} - 1\right) \right] \text{ když } \frac{I''_k}{I_k} \geq 1,25 \quad [6] \quad (3.20)$$

$$\text{kde } \frac{I'_k}{I_k} = \frac{\frac{I''_k}{I_k}}{0,88 + 0,17 \cdot \frac{I''_k}{I_k}}, \quad T'_d = \frac{3,1 \text{ s}}{\frac{I''_k}{I_k}} \quad [6] \quad (3.21)$$

U elektricky vzdálených zkratů lze použít $m + n = 1$, pokud jmenovitá doba trvání zkratů je 0,5 s nebo větší. Pro elektricky vzdálené zkraty lze obvykle použít $n = 1$.

Zkratový proud je nežádoucí jev, u kterého se snažíme omezit jeho výskyt a zmenšit jeho hodnoty. Omezit výskyt zkratového proudu můžeme znesnadňováním jeho vzniku tím, že použijeme kvalitní izolaci, zařízení bude pravidelně kontrolováno, použitím přepětových ochrana a systémové ošetření před chybnými manipulacemi.

Snížit hodnoty zkratových proudů můžeme provést zvýšením impedance obvodu, jímž protéká zkratový proud, použitím reaktorů, zabráněním paralelního chodu transformátorů a použitím transformátoru s vyšší hodnotou napětí nakrátko. Snížit hodnotu zkratového proudu můžeme také použitím pojistek, které mají omezovací schopnosti a vypínají zkratový proud před dosažením maximálních hodnot.

Postup při výpočtu zkratových proudů metodou ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu.

- sestavení schéma soustavy pro výpočet zkratových proudů
- určení impedance pro jednotlivé prvky a náhradní impedance pro příspěvky ke zkratovým proudům
- výpočet celkové impedance mezi zdrojem a místem zkratu
- výpočet zkratového proudu

3.3 Teoretické výpočty impedancí

Impedance popisuje zdánlivý odpor a fázový posuv napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu. Má reálnou a imaginární část a vyjadřuje se komplexním číslem.

$$\bar{Z} = R + jX = |\bar{Z}| \cdot \cos(\varphi) + j \cdot |\bar{Z}| \cdot \sin(\varphi) = \bar{Z} \cdot e^{j \cdot \varphi} (\Omega) \quad (3.22)$$

Odpor je fyzikální veličina charakterizující schopnost vést elektrický proud.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} (\Omega) \quad (3.23)$$

R – odpor vodiče (Ω)

ρ – měrný odpor, rezistivita ($\Omega \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)

l – délka vodiče (m)

S – obsah kolmého průřezu (m^2)

Reaktance je imaginární impedance vodiče nebo součástky. Může mít indukční nebo kapacitní charakter.

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L (\Omega) \quad (3.24)$$

$$X_C = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} (\Omega) \quad (3.25)$$

f – frekvence (Hz)

ω – uhlová frekvence (s^{-1})

L – indukčnost (H)

C – elektrická kapacita (F)

Impedance připojené nadřazené soustavy

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I''_k} = \frac{c \cdot U_n}{S_k} (\Omega; -, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (3.26)$$

U_n – efektivní hodnota sdruženého napětí soustavy

c – napětíový činitel

I''_k – počáteční souměrný rázový zkratový proud

S''_k – počáteční souměrný zkratový výkon soustavy při trojfázovém zkratu

V případě, že je soustava oddělená od místa zkratu, můžeme uvažovat $Z_Q = X_Q$.

Impedance dvouvínutového transformátoru

$$Z_T = \frac{u_{kr} \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad (\Omega; \%, \text{ kV, MVA}) \quad (3.27)$$

$$R_T = \frac{P_{krT} \cdot U_{nT}^2}{S_{nT}^2} \quad (\Omega; \text{ MW, kV, MVA}) \quad (3.28)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (\Omega; \Omega, \Omega) \quad (3.29)$$

u_{kr} – jmenovité napětí transformátoru nakrátko v procentech

U_{nT} – jmenovité napětí transformátoru

S_{nT} – jmenovitý výkon transformátoru

P_{krT} – jmenovité ztráty transformátoru nakrátko

U transformátoru vn/vn můžeme při výpočtu počátečního rázového proudu I''_k obvykle zanedbat rezistenci transformátoru $Z_T = X_T$.

Trojvínutový transformátor

$$Z_{AB} = \frac{u_{krAB} \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nTAB}} \quad (\Omega; \%, \text{ kV, MVA}) \quad (3.30)$$

$$Z_{AC} = \frac{u_{krAC} \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nTAC}} \quad (\Omega; \%, \text{ kV, MVA}) \quad (3.31)$$

$$Z_{BC} = \frac{u_{krBC} \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nTBC}} \quad (\Omega; \%, \text{ kV, MVA}) \quad (3.32)$$

$$Z_A = \frac{Z_{AB} + Z_{AC} - Z_{BC}}{2} \quad (\Omega) \quad (3.33)$$

$$Z_B = \frac{Z_{AB} + Z_{BC} - Z_{AC}}{2} \quad (\Omega) \quad (3.34)$$

$$Z_C = \frac{Z_{AC} + Z_{BC} - Z_{AB}}{2} \quad (\Omega) \quad (3.35)$$

u_{kr} – jmenovité napětí nakrátko mezi vinutími v procentech

U_{nT} – jmenovité napětí transformátoru

S_{nT} – jmenovitý výkon transformátoru

Reaktor – cívka se vzduchovým jádrem, tlumivka, která je určena ke krátkodobému omezení zkratových proudů. Mají převážně indukční charakter a během provozu jimi prochází jmenovitý proud.

$$X_R = \frac{u_{kR} \cdot U_n}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{rR}} \quad (\Omega; \%, V, A) \quad (3.36)$$

u_{kR} – napětí nakrátko reaktoru omezujícího zkrat v procentech

U_n – jmenovité sdružené napětí soustavy

I_{rR} – jmenovitý proud reaktoru

Rezistanci reaktoru můžeme obvykle zanedbat $Z_R = X_R$, nebo dopočítat ze vztahu:

$$R = 0,01 \cdot X. \quad (3.37)$$

Vedení

$$X_V = X_{V1} \cdot l \quad (\Omega; \Omega \cdot \text{km}^{-1}, \text{km}) \quad (3.38)$$

$$R_V = R_{V1} \cdot l \quad (\Omega; \Omega \cdot \text{km}^{-1}, \text{km}) \quad (3.39)$$

X_V – reaktance sousledné složky vedení

R_V – rezistance sousledné složky vedení

X_{V1} – reaktance vedení v délce 1 km

R_{V1} – rezistance vedení v délce 1 km

l – délka vedení

Alternátor

$$Z_G = \frac{x''_d \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad (\Omega; \%, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (3.40)$$

x''_d – rázová reaktance alternátoru

U_{nG} – jmenovité napětí alternátoru

S_{nG} – jmenovitý zdánlivý výkon alternátoru

Asynchronní motor

$$Z_M = \frac{1}{i_z} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \quad (\Omega; \text{kV}, -, \text{MVA}) \quad (3.41)$$

$$i_z = \frac{I_z}{I_n} \quad (3.42)$$

i_z – poměrný záběrový proud

I_z – záběrový proud asynchronního motoru

I_n – jmenovitý proud asynchronního motoru

U_n – jmenovité napětí asynchronního motoru

S_n – jmenovitý zdánlivý příkon asynchronního motoru

Rezistanci motoru lze obvykle zanedbat $Z_M = X_M$.

Impedanci jednotlivých prvků soustavy pro výpočet zkratových poměrů musíme přepočítat na napěťovou hladinu v místě zkratu.

$$Z_2 = Z_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad (\Omega; \Omega, V, V) \quad (3.43)$$

Z_2 – přepočtená impedance na napěťovou hladinu v místě zkratu

Z_1 – impedance motoru

U_2 – napěťová hladina v místě zkratu

U_1 – napěťová hladina v místě připojení prvku soustavy

3.4 Ochrany a jejich rozdělení

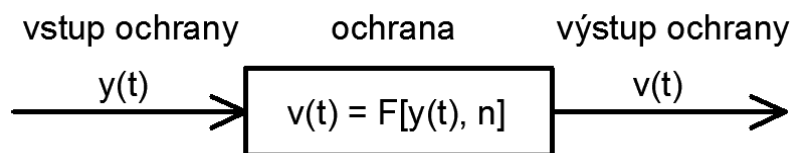
Ochrana je zařízení pro kontrolu jednotlivých veličin chráněného objektu v energetické soustavě. Ochrana získává informace o jednotlivých veličinách nejčastěji pomocí přístrojových transformátorů proudu a napětí. Ochrana rozlišuje stavy chráněného objektu: normální provozní stav, mimořádný provozní stav a poruchový stav. Druhy ochran: nadproudová, napěťová, distanční, rozdílová srovnávací, záblesková, wattová a jalová.

Ochrany dělíme podle chráněného objektu na ochranu generátoru, motoru, transformátoru, přípojníc, vedení a speciální.

Dělení ochran podle konstrukce na mechanické, statické a digitální.

Podle doby působení na mžikové, časově nezávislé a časově závislé.

Podle druhu poruchy na zkratové, nadproudové, podpěťové, přepětové, podfrekvenční, nadfrekvenční, při zemním spojení, při zpětném toku výkonu, při ztrátě buzení a při nesouměrnosti. Chráněný objekt je určitá část energetické soustavy, která se z hlediska chránění bere jako jedna část soustavy. Chráněný objekt a jeho rozsah může být definován různě, např. synchronní generátor, motor, část vedení, rozváděčová sekce, generátor a vedení. Provozní stav chráněného objektu se určuje podle stavových veličin, zejména podle proudu, napětí, teploty, frekvence. [3]



Obr. 9 Schéma funkce ochrany (rovnice ochrany)

Vstup ochrany – $y(t)$, je vektorově totožný s měřeným výstupem chráněného objektu. Ze vstupu se určuje provozní stav chráněného objektu.

Výstup ochrany – $v(t)$, působení ochrany na chráněný objekt. Jedná se o funkci vstupů ochrany a jejich parametrů.

Konstanty – n , soubor konstant (parametrů) ochrany, kterými se ochrana parametrizuje.

Algoritmus ochrany – F , vektorová funkce ochrany.

Charakteristika ochrany – grafický zápis algoritmu ochrany.

Doba působení ochrany – časový úsek mezi vznikem poruchy a signálem na výstupu ochrany. Tento časový úsek může být nastavitelný.

Citlivost ochrany – velikost měřené veličiny $y(t)$ na kterou je ochrana zhotovena.

Nařiditelnost ochrany – rozsah měřené veličiny $y(t)$ na kterou lze nastavit citlivost ochrany.

Rozlišovací schopnost ochrany – minimální velikost Δx mezi dvěma stavy, kterou je ochrana schopna rozlišit.

Přidržený poměr – poměr mezi stavovými veličinami při návratu ochrany k velikosti stavové veličiny při rozběhu ochrany.

Další vlastnosti ochrany: jmenovité hodnoty, přetížitelnost, spotřeba ochrany. [3]

Vnitřní strukturu ochrany lze popsat jednotlivými základními členy. Tyto členy nemusí ochrana obsahovat všechny a některé z nich může obsahovat vícekrát.

Vstupní člen – vstupní veličiny, kterými bývají nejčastěji proud a napětí, převádí na takovou úroveň a tvar, který potřebuje ochrana k dalšímu zpracování.

Popudový člen – způsobuje rozběh ochrany. Dává popud logice ochrany, že v chráněném objektu došlo k poruše. U tohoto členu se požaduje vyšší citlivost než u měřicího členu.

Měřicí člen – určuje vlastnosti ochrany a rozhoduje, zda u chráněného objektu došlo k poruše. Na vstup se přivede stav chráněného objektu a podle algoritmu (základní druhy jsou amplitudový a součinnový) rozhodne, jestli se jedná o normální stav nebo o poruchu.

Logika – zpracovává signál z popudového, měřicího a časového členu a na základě svého vnitřního algoritmu rozhodne o stavu koncového členu.

Časový člen – umožňuje prodloužení doby působení ochrany. Určuje časové intervaly pro logiku ochrany. Důvody použití: selektivita, snížení chybného působení a umožnění využití akumulace energie v chráněném objektu.

Filtry souměrných složek – odfiltrováním souměrných složek napětí a proudů identifikuje nesymetrické poruchy. Zpřesní povahu poruchového stavu.

Koncový člen – zprostředkuje výstup z logiky s okolím ochrany. Umožní vypnutí vypínače a signalizaci poruchy.

Napájecí člen – umožňuje napájet ochranu z akumulátorů nebo ze střídavé sítě. [3]

4. Popis současného stavu rozvodny Válcovna AB 6 kV

Název budovy: Budova rozvodny Válcovny AB

Rok dokončení: 1961

Rozměry: délka 63 m

výška 20,50 m

šířka 18,75 m

Zastavěná plocha 1200 m²

Obestavěná plocha 26500 m³

Základy: betonové

Zdivo: cihelné

Konstrukce: železobetonové skelety

Střecha: sedlová

Podlahy: teraso dlaždice

Kanalizace: kameninová

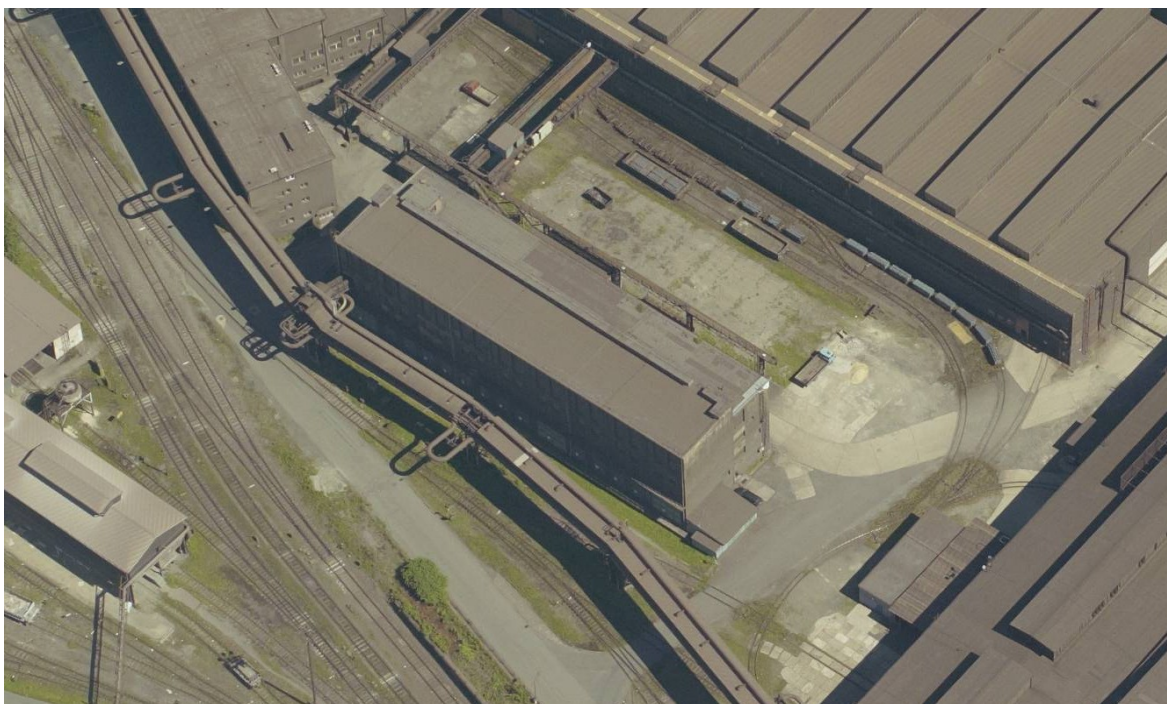
Rozvod vody: 0,88 l·s⁻¹

Rozvod elektřiny: po registrech

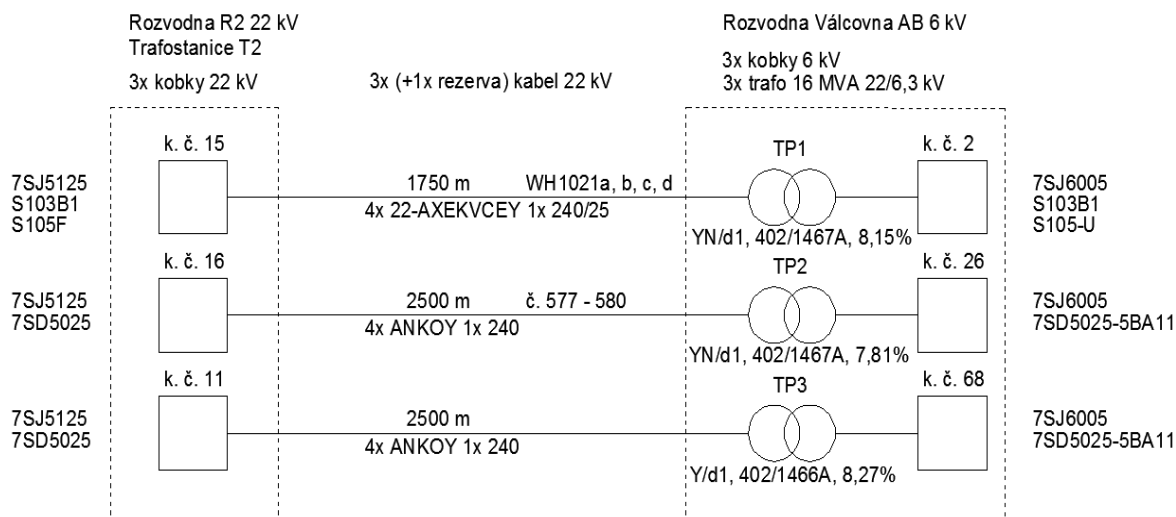
Topení: teplovodní

Vnitřní zařízení: ventilátor, 1 nákladní výtah, 15 transformátorů, 2 reaktory

Příslušenství: telefonní kabelové vedení



Obr. 10 Pohled na rozvodnu Válcovna AB [11]



Obr. 11 Schéma propojů – stávající stav

Rozvodna Válcovna AB 6 kV je situovaná v budově rozvodny Válcovna AB na výškové úrovni +13,00 m v areálu Třineckých železáren. Rozvodna je dvousystémová, hlavní sběrný jsou Al 2x 100/10 mm. Rozvodna má 68 kobek ve dvou řadách, rozdělené do dvou sekcí. Rozvodna je dimenzovaná na zkratový výkon 400 MVA. Na stejné výškové úrovni v budově rozvodny je situovaná akumulátorovna a stejnosměrná rozvodna pro zajištění ovládacího napětí pro rozvodnu vn. Poruchové rozváděče RP-P1 až RP-P4 jsou umístěny v rozvodně vn. Na výškové úrovni +9,35 m je vývodový prostor rozvodny vn. Na výškové úrovni +1,00 m se nachází rozvodna nn, přírodní výkonové transformátory 22/6 kV a vývodové transformátory 6/0,4 kV a 6/0,5 kV.

Z rozvodny Válcovna AB 6 kV je napájena část technologií na válcovně AB. V minulých obdobích došlo ke změně v napájení technologie na válcovně. Většina zařízení je nyní napájena z rozvodny Nové napájecí zdroje 6 kV. Rozvodnu Nové napájecí zdroje lze napájet z rozvodu HR E2 6 kV a z rozvodny TIV R2 6 kV, což je napětí JIH, oproti rozvodny Válcovna AB 6 kV, která je napájena z napětí SEVER. Z rozvodny Nové napájecí zdroje 6 kV jsou v současné době napájeny technologie, které mají význam při výpočtu příspěvků zkratových proudů, tj. synchronní motory, velké asynchronní motory a kompenzátory.

Z rozvodny Válcovna AB 6 kV, je napájena především střední trať, kde jsou použity stejnosměrné motory napájené přes transformátory a usměrňovače. Z těchto důvodů se nepočítá náhradní impedance mezi rozvodnou a zdrojem, která ošetřuje příspěvky ke zkratovým proudům.



Obr. 12 Pohled na řídící skříně rozvodny Válcovna AB 6 kV



Obr. 13 Pohled na otevřenou řídící skříň v rozvodně Válcovna AB 6 kV

Rozvodna Válcovna AB 6 kV je původní a je vybavená tlakovzdušnými vypínači. Výhledově se počítá s rekonstrukcí rozvodny a vybavení vakuovými vypínači. Rozvodna je postupně opravována. Vyměnila se většina elektromechanických ochran za digitální. V případě změny vývodů za vývod s jinými proudovými hodnotami se měnily přístrojové transformátory proudu. Dále se měnily porouchané prvky za nové. Při rekonstrukci zbývajících kobek bude zaveden řídicí systém, který bude použitý paralelně s reléovou logikou v řídicích skříních jednotlivých kobek.

Transformátor TP1:

16 MVA, YN/d1, 22/6,3 kV, 402/1467 A, $u_k=8,15\%$, váha oleje: 8 000 kg, celková váha 33000 kg, rok výroby: 1984, typ 48T150/98, výrobce: ČKD Praha, výrobní číslo: 1209704

Transformátor TP2:

16 MVA, YN/d1, 22/6,3 kV, 402/1467 A, $u_k=7,81\%$, váha oleje: 8000 kg, celková váha 33000 kg, rok výroby: 1987, typ 48T150/98, výrobce: ČKD Praha, výrobní číslo: 1214535

Transformátor TP3:

16 MVA, Yd1, 22/6,3 kV, 420/1466 A, $u_k=8,27\%$, váha oleje: 8200 kg, celková váha 34500 kg, rok výroby: 1990, typ 48T150/98, výrobce: ČKD Praha, výrobní číslo: 1218679

Rozvodna Válcovna AB 6 kV, kobka 2:

Měřicí transformátory proudu: 3x 2000/5/5 A, 60/60 VA, tř. 1/1, $n<5$

Nadproudová ochrana: 7SJ6005, $I_n=5A$

Nastavení: $1 \cdot I_n$ A, vypíná 5 A, čas vypnutí 1,7 s

Nastavení: $2,2 \cdot I_n$ A, vypíná 11 A, čas vypnutí 0,25 s

Srovnávací ochrana: S103B1, $I_n=5A$

L1-0: - A; L2-0: - A; L3-0: - A

L1-L2: 3,7 A; L1-L3: 1,4 A; L2-L3: 2 A

Rozvodna Válcovna AB 6 kV, kobka 26:

Měřicí transformátory proudu: 3x 2000/5/5 A, 60/60 VA, tř. 1/1, $n<5$

Nadproudová ochrana: 7SJ6005, $I_n=5A$

Nastavení: $1 \cdot I_n$ A, vypíná 5 A, čas vypnutí 1,7 s

Nastavení: $2,3 \cdot I_n$ A, vypíná 11,5 A, čas vypnutí 0,25 s

Srovnávací ochrana: 7SD5025-5BA11, $I_n=5A$

L1-0: 4,55 A; L2-0: 10 A; L3-0: 3,2 A

L1-L2: 10 A; L1-L3: 10 A; L2-L3: 4,55 A

Rozvodna Válcovna AB 6 kV, kobka 68:

Měřicí transformátory proudu: 3x 2000/5/5 A, 60/60 VA, tř. 1/1, $n<5$

Nadproudová ochrana: 7SJ6005, $I_n=5A$

Nastavení: $1 \cdot I_n$ A, vypíná 5 A, čas vypnutí 1,7 s

Nastavení: $2,2 \cdot I_n$ A, vypíná 11 A, čas vypnutí 0,25 s

Srovnávací ochrana: 7SD5025-5BA11, $I_n=5A$

L1-0: 4,5 A; L2-0: 9,4 A; L3-0: 3,1 A

L1-L2: 9,6 A; L1-L3: 9,6 A; L2-L3: 4,7 A

5. Rekonstrukce přívodních polí rozvodny Válcovna AB 6 kV

5.1 Postup při návrhu rekonstrukce

- Zajištění veškeré technické dokumentace, pochůzka na místě a konzultace se zadavatelem.
- Návrh nových transformátorů 22/6 kV, požadavek zadavatele na navýšení transformátoru 23/6,3 kV z 16 MVA na 25 MVA. Jedná se o tři výkonové transformátory označené TP1, TP2 a TP3 umístěné v elektroobjektu budovy rozvodna Válcovna AB. Dohledání vhodných transformátorů v katalozích a schválení zadavatelem. Nové výkonové transformátory budou umístěné na místech původních.
- Návrh rekonstrukce kabelového vedení mezi rozvodnou T2 22 kV a trafokobkami v budově rozvodny Válcovna AB. Nové kabely budou instalovány na energomosty se stávajícím nehořlavým podkladem na místa původních kabelů. Kabely budou přichyceny kabelovými příchytkami do trojúhelníku. Jedno kabelové vedení je instalované na jiných energomostech než zbylá dvě vedení z důvodu zajištění spolehlivosti napájení.
- Výpočet nových zkratových poměrů v rozvodně Válcovna AB 6 kV.
- Zvolit průřez hliníkových sběrů mezi výkonovým transformátorem a přívodní kobkou, včetně sběrů v samotné kobce v rozvodně Válcovna AB 6 kV.
- Výměna proudových transformátorů ve třech kobkách v rozvodně T2 22 kV. Vymění rovněž stávající proudové transformátory v součtovém (Holmgreenově) zapojení pro přesnou zemní ochranu.
- Návrh vn části přívodní kobky rozvodny Válcovna AB 6 kV. Vybavení kobky: dva odpojovače, vakuový vypínač, přístrojové transformátory proudu, sběrný, řídicí skříň.
- Návrh řídicí skříně pro přívodní kobky v rozvodně Válcovna AB 6 kV. Nová řídicí skříň bude umístěná na místě stávající. Řídicí skříň bude vybavená digitálními ochranami, elektroměrem, relé, ovládacími jističi, tlačítky, měřicími přístroji, svorkovnicemi.
- Návrh nastavení ochrany ve vývodních polích rozvodny T2 22 kV a přívodních polích rozvodny Válcovna AB 6 kV.

Rekonstrukce rozvodny se vztahuje pouze na přívodní kobky rozvodny Válcovna AB 6 kV, kobky č. 2, 26 a 68. Ostatní kobky v rozvodně Válcovna AB 6 kV nejsou předmětem této práce.

Práce se dále nevztahuje na hlavní sběrný rozvodny, osvětlení, nouzové osvětlení, napájení rozvodny stejnosměrným ovládacím napájením, stavební úpravy, řídicí systém, klimatizace, přívod 400V AC, nn rozvodnu, zemnicí soustavu, ventilaci rozvodny, návrh provozních předpisů, proškolení osob, bezpečnostní tabulky, temperování transformátorů, požární objekty, požární předpisy pro rozvodnu, vytápění a odvětrávání rozvodny. V rozvodně T2 22 kV se vymění přístrojové transformátory proudu ve vývodových kobkách č. 11, 15, 16 pro rozvodnu Válcovna AB 6 kV.

V rozvodně Válcovna AB 6 kV se vymění vn obvody až k hlavním sběrnám, které zůstanou stávající, vymění se řídicí skříně v přírodních kobkách č. 2, 26, 68 a výkonové transformátory TP1, TP2 a TP3.

Po ukončení rekonstrukce a před uvedením do provozu musí být kobky znovu prohlédnuté, ověřeno utažení šroubů a očištění izolátorů. Dále musí být ověřeno jestli zařízení odpovídá projektové dokumentaci, zda odpovídá předpisům, normám a požadavkům na bezpečnost a provozní spolehlivost, zda byla vypracovaná výchozí revize a provedené zkoušky (vizuální, měření a funkční), a to jak zrakové, napěťové a měřicí. Musí být vypracován protokol k nastavení ochran.

5.2 Návrh protokolu o určení vnějších vlivů

Pro objekt rozvodna Válcovna AB 6 kV, je dosud platný protokol č. 758/1 ze dne 12. 8. 1988. V protokolu je uvedeno, že byl vypracován odbornou komisí na základě norem ČSN 330300 a ČSN 332310 a stanovuje prostředí základní. Protokol byl vypracován pro rozvodny vn včetně vývodových prostorů, rozvoden nn, trafokomor a kompresoroven. Pro většinu rozvoden byl následně při rekonstrukcích nebo modernizacích vypracován protokol nový. Nikoliv však pro rozvodnu Válcovna AB 6 kV.

Pro stávající energomosty provozu 1750 byl vypracovaný odbornou komisí protokol č. 785/4 dne 5. 5. 1989, který stanovuje prostředí aktivní složitě, a to jako prostředí pod přístřeškem, dle ČSN 330300 a ČSN 332310.

Protokol o určení vnějších vlivů je základní protokol umožňující projektantům, údržbě a montážním organizacím zvolit vhodné technologie, zařízení a jeho krytí. Dle tohoto protokolu se rovněž stanovují revizní lhůty.

Základní normy používané při sestavování protokolu o určení vnějších vlivů:

ČSN 33 2000-5-51 ed. 3,
ČSN 33 2000-4-41 ed. 2 /Z1,
ČSN 33 1500 /Z3,
ČSN 22 2000-6.

Pro tuto problematiku byla rovněž zpracovaná TNI 33 2000-5-51.

Návrh na vypracování protokolu o určení vnějších vlivů vypracovaný odbornou komisí.

Složení komise:

předseda: vedoucí rozvodu elektro

členové: technik elektro
požární technik
bezpečnostní technik
revizní technik
projektant elektro

Objekty, pro které je sestavovaný protokol: rozvodna Válcovna AB 6 kV, vývodový prostor pod rozvodnou vn, trafokomory pro transformátory TP1, TP2 a TP3 (22/6 kV) a energomosty spojující rozvodny T2 22 kV a Válcovna AB 6 kV.

Podklady pro vypracování protokolu: stávající elektrodokumentace, stavební výkresy, stávající protokoly prostředí, požadavky investora, pracovní předpisy, pochůzka na místě včetně zjištění stávajícího stavu, související normy a právní předpisy.

Popis objektů:

Rozvodna vn – zděný prostor s betonovým stropem a podlahou. V místnosti je 68 kobek na napěťové úrovni 6 kV. Podlaha je opatřena nátěrem zabraňujícím vzniku prachu a gumovým kobercem. Příčky mezi kobkami jsou zděné a kobky mají uzavírání ze zasíťovaných ráků. Místnost je temperovaná a odvětrávána.

Vývodový prostor vn – zděný prostor pod rozvodnou vn s betonovým stropem a podlahou. Na podlaze je gumový koberec. Příčky mezi kobkami jsou zděné a kobky mají uzavírání ze zasíťovaných ráků. Místnost je temperovaná.

Trafokobky – zděné prostory. V každé místnosti je umístěný jeden olejový transformátor. Prostory jsou vybaveny otvory pro odvětrávání.

Energomosty – kabelové trasy na kabelových roštech pod stříškou, umístěné na ocelové konstrukci mimo zděné budovy.

Rozhodnutí:

Odborná komise určila vnější vlivy, které byly stanovené podle ČSN 33 2000-5-51 ed. 3, ČSN 33 2000-4-41 ed. 2 /Z1, ČSN 33 1500 /Z3, ČSN 22 2000-6 a souvisejících předpisů. Povahy jednotlivých vlivů jsou uspořádané v tabulce. V případě změn v užití prostorů, stavebních změn nebo změn technologie je nutno protokol o vnějších vlivech přepracovat. Prostory byly stanovené z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem takto:

Rozvodna vn	– normální
Vývodový prostor	– normální
Trafokobky TP1 až 3	– nebezpečné
Energomosty	– nebezpečné

Zdůvodnění:

Prostory v rozvodně vn a vývodovém prostoru vn byly stanovené jako prostory normální z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Prostory trafokobky transformátorů TP1, TP2 a TP3 byly stanovené jako prostory nebezpečné z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem z důvodu povahy vlivů AB4 a AM2. Prostory energomostu byly stanovené jako prostory nebezpečné z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem z důvodu povahy vlivů AB8, AD3, AE2, AF2 a BC3.

Tabulka č. 2 – Návrh protokolu o určení vnějších vlivů - prostředí

Prostředí	Rozvodna vn	Vývodový prostor vn	Trafokobky TP1 až TP3	Energomosty
Teplota okolí	AA5	AA5	AA4	AA8
Teplota a vlhkost	AB5	AB5	AB4	AB8
Nadmořská výška	AC1	AC1	AC1	AC1
Voda	AD1	AD1	AD1	AD3*
Cizí tělesa	AE1	AE1	AE1	AE2
Korozní působení	AF1	AF1	AF1	AF2
Ráz	AG1	AG1	AG1	AG1
Vibrace	AH1	AH1	AH1	AH1
Rostlinstvo	AK1	AK1	AK1	AK1
Živočichové	AL1	AL1	AL1	AL1
Záření	AM1	AM1	AM2	AM1
Sluneční účinky	AN1	AN1	AN1	AN2
Seismické působení	AP1	AP1	AP1	AP1
Bouřková činnost	AQ1	AQ1	AQ1	AQ1
Pohyb vzduchu	AR1	AR1	AR1	AR1

* Vliv se vyskytuje v daném prostoru jen občas a s elektrickým zařízením se bude manipulovat pouze v době, kdy vliv na zařízení nebude splňovat podmínky pro prostory zvlášť nebezpečné.

Tabulka č. 3 – Návrh protokolu o určení vnějších vlivů – využití

Využití	Rozvodna vn	Vývodový prostor vn	Trafokobky TP1 až TP3	Energomosty
Schopnost osob	BA5	BA5	BA5	BA4
Kontakt s potenciálem země	BC2	BC2	BC2	BC3
Podmínky úniku v případě nebezpečí	BD1	BD1	BD1	BD2
Povaha zpracovaných látek nebo skladovaných materiálů	BE1	BE1	BE1	BE1

Tabulka č. 4 – Návrh protokolu o určení vnějších vlivů – konstrukce budov

Konstrukce budov	Rozvodna vn	Vývodový prostor vn	Trafokobky TP1 až TP3	Energomosty
Stavební materiál	CA1	CA1	CA1	CA1
Provedení konstrukce budovy	CB1	CB1	CB1	CB1

Tabulka č. 5 – Návrh protokolu o určení vnějších vlivů – prostory

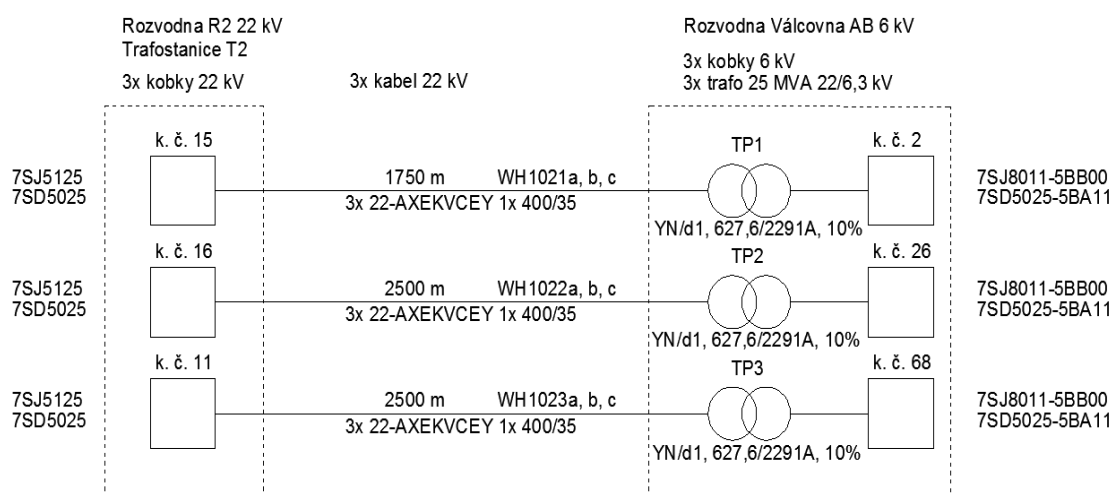
Prostory	Rozvodna vn	Vývodový prostor vn	Trafokobky TP1 až TP3	Energomosty
Prostory z hlediska použití elektrického zařízení	normální	normální	nebezpečné	nebezpečné

Protokol se skládá ze samotného protokolu a příloh. Přílohy budou: situační výkres a tabulky s kódy vnějších vlivů.

V protokolu musí být dále uvedeno: číslo protokolu, datum a místo sepsání, vlastník objektu, podpisy předsedy a členů komise.

5.3 Výběr transformátorů

Požadavek navýšení výkonu transformátorů z 16 MVA na 25 MVA vychází přímo od zadavatele práce. Požadavek vychází z varianty, při které se předpokládá navýšení odběru po rekonstrukci a částečné změně technologie v provozu válcovny. Nové výkonové transformátory budou umístěné v trafokobkách na místě stávajících transformátorů. Výkonové zatížení transformátorů je v průběhu dne značně proměnlivé a předpokládané průměrné proudové zatížení na 15 % jmenovitého proudu transformátoru bylo stanovené po dohodě se zadavatelem. Navýšení výkonu transformátorů je hlavním důvodem rekonstrukce přírodních kobek a výměně kabelového vedení mezi rozvodnami T2 22 kV a Válcovnou AB 6 kV.



Obr. 14 Schéma propojů – plánovaný stav

Nabídka transformátorů s vybranými parametry [14]:

- DOT 25000/25; 25 MVA; 23/6,3 kV; $P_0=15$ kW; YNd1; $u_k=10$ %; $P_k=125$ kW; cena 7350000 Kč
- DOT 25000/25; 25 MVA; 23/6,3 kV; $P_0=10$ kW; YNd1; $u_k=10$ %; $P_k=100$ kW; cena 8750000 Kč

V nabídce jsem obdržel dvě varianty provedení transformátorů, které se liší výkonem na krátko a cenou. Doba používání transformátoru se odhaduje na 20 až 25 let. Porovnání cenové výhodnosti vychází z celkových nákladů na provoz transformátorů v období 30 let. Velikost zatížení je stanovena na 25 % jmenovitého zatížení. Ve skutečnosti je v průběhu dne značně proměnlivá. Cena energie, včetně změny energie je stanovena odhadem po konzultaci s odborníky. V současné době lze stanovit budoucí cenu elektrické energie, která je předmětem obchodních smluv, jen hrubým odhadem.

Přesnou cenu určí dodavatel čtyři měsíce před dodávkou transformátorů.

Vzorec dodavatele pro stanovení konečné ceny:

$$P = P_o \cdot \left(0,65 + 0,19 \cdot \frac{Fe}{Fe_o} + 0,16 \cdot \frac{Cu}{C_{uo}} \right) \quad [14] \quad (5.1)$$

P – konečná jednotková cena transformátoru

P_o – základní nabídková cena transformátoru

Fe – index ceny transformátorového plechu stanovený čtyři měsíce před dodávkou

Fe_o – index ceny transformátorových plechů ke čtvrtletí podání nabídky

Cu – cena elektrolytické mědi v € za tunu na LME (London Metal Exchange) – průměrná cena za kalendářní měsíc vypočtená aritmetickým průměrem bude stanovená čtyři měsíce před dodávkou.

C_{uo} – oficiální cena elektrolytické mědi v € za tunu. Na LME k 1. dni měsíce předcházejícímu měsíci podání nabídky.

Určení celkových nákladů transformátoru, zohlednění míry inflace a nárůstu ceny elektrické energie, není zahrnutá změna ceny peněz a náklady na údržbu.

$$CN = KC + \sum_{k=1}^n H \cdot \left(P_0 + P_k \cdot \left(\frac{I}{I_n} \right)^2 \right) \cdot CE \cdot \left(\frac{1 + \frac{NC}{100}}{1 + \frac{INF}{100}} \right)^k \quad [13] \quad (5.2)$$

CN – celkové náklady

KC – kupní cena transformátoru

H – počet hodin v roce

P_0 – ztráty naprázdno v kW

P_k – ztráty nakrátko v kW

I – průměrný odebíraný proud

I_n – jmenovitý proud

CE – cena energie za 1 kWh

NC – nárůst ceny elektrické energie za celé období v %

INF – míra inflace v %

k – pořadí vyhodnocovaného roku

Výpočet nákladů na nákup a ztráty transformátoru po období 30 let.

$$H = 360 \text{ (standart 30E/360)} \cdot 24 = 8640 \text{ h}$$

$$INF = 2 \%$$

$$I = 344 \text{ A (15 \% z 2291 A)}$$

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{25000000}{\sqrt{3} \cdot 6300} = 2291 \text{ A} \quad (5.3)$$

$$CE = 2,35 \text{ Kč}$$

$$NC = 1 \%$$

a)

$$KC = 7350000 \text{ Kč}$$

$$P_0 = 15 \text{ kW}$$

$$P_k = 125 \text{ kW}$$

b)

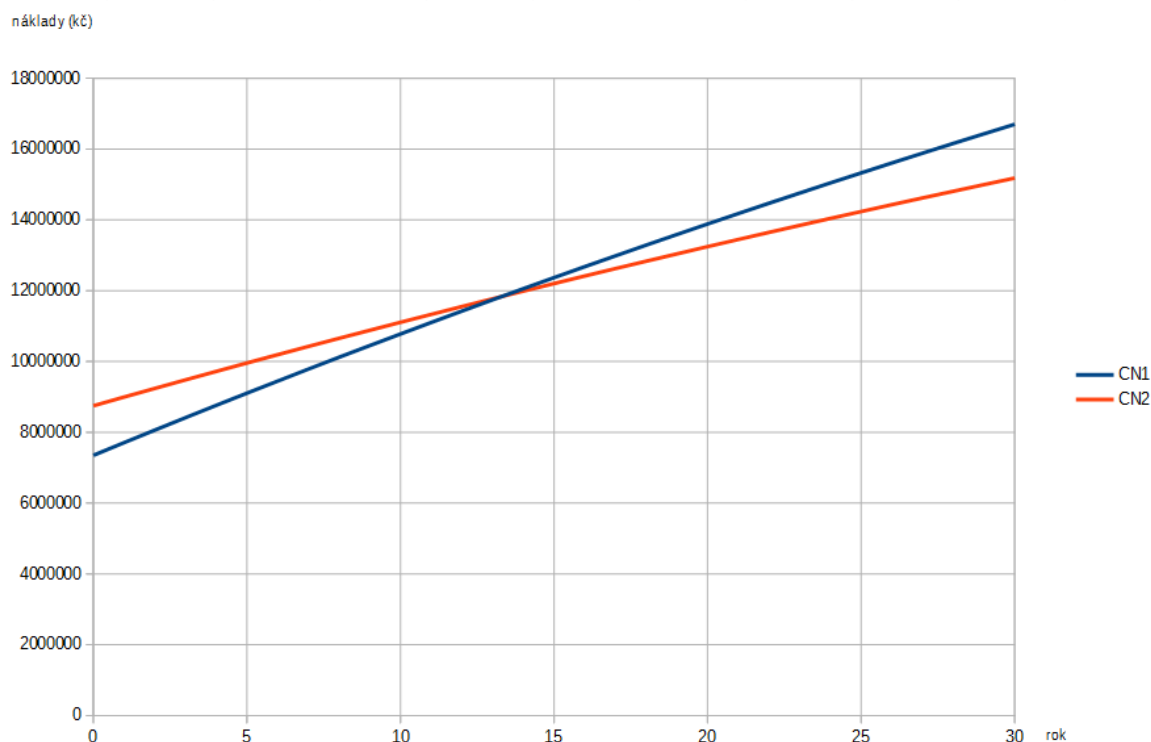
$$KC = 8750000 \text{ Kč}$$

$$P_0 = 10 \text{ kW}$$

$$P_k = 100 \text{ kW}$$

Tabulka č. 6 – Celkové náklady pro obě varianty transformátorů (sudé roky)

Rok	CN1 (Kč)	CN2 (Kč)
0	7350000	8750000
2	8062957	9240340
4	8762003	9721113
6	9447409	10192504
8	10119442	10654699
10	10778362	11107875
12	11424426	11552208
14	12057884	11987873
16	12678982	12415036
18	13287961	12833865
20	13885058	13244522
22	14470505	13647166
24	15044528	14041953
26	15607352	14429038
28	16159193	14808570
30	16700268	15180697



Obr. 15 Porovnání celkových nákladů na transformátory

Pokud nedojde ke změnám, se kterými nebylo počítáno, tj. změna ceny transformátorů, jiná míra inflace, jiný vývoj ceny elektrické energie, vyplatí se používání transformátoru s nižšími ztrátami při používání delším, než je 14 let. Dále se v této práci počítá s transformátorem s nižšími ztrátami.

Výpočet parametrů transformátoru pro výpočet zkratových poměrů:

$$u_k = 10 \%$$

$$U_{nT} = 6300 \text{ kV}$$

$$S_{nT} = 25 \text{ MVA}$$

$$P_{knT} = 100 \text{ kW}$$

$$Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{10 \cdot 6300^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 0,15876 \Omega \quad (5.4)$$

$$R_{(1)} = \frac{P_{knT} \cdot U_{nT}^2}{S_{nT}^2} = \frac{100000 \cdot 6300^2}{(25 \cdot 10^6)^2} = 0,0063504 \Omega \quad (5.5)$$

$$X_{(1)} = \sqrt{Z_{(1)}^2 - R_{(1)}^2} = \sqrt{0,15875^2 - 0,0063504^2} = 0,15862 \Omega \quad (5.6)$$

Požadavky na druh ochrany síťového transformátoru vn/vn s výkonem $5 \leq S < 25$ MVA podle ČSN 333051:

- nadproudová zkratová nebo impedanční (primární) – nelze-li výpočtem prokázat možnost selektivního nastavení, když je malý rozdíl mezi největším provozním proudem a nejmenším průchozím zkratovým proudem,
- nadproudová zkratová (sekundární),
- nadproudová zkratová (terciální),
- nadproudová při přetížení – pouze tehdy, pokud není použita tepelná ochrana, která transformátor při dlouhodobém přetížení odlehčí nebo odpojí,
- plynová,
- rozdílová – pouze tehdy, pokud nevyhoví časové nastavení nadproudové časově nezávislé ochrany,
- zemní nádobová – u transformátorů s účinně uzemněným nulovým bodem vinutí.

Chránění transformátoru:

- primární - srovnávací ochrany v rozvodně T2 22 kV a rozvodně Válcovna AB 6 kV,
- sekundární - nadproudové ochrany v rozvodnách T2 22 kV a Válcovna AB 6 kV, ochrany se nastavují selektivně, proto není použita impedanční ochrana,
- terciální – nadproudová ochrana v rozvodně T2 22 kV, přívodní kobka,
- nadproudová proti přetížení - tepelný modul v nadproudových ochranách nastavený na 110 %,
- plynová – součást ochrany na transformátoru, kterou tvoří dvouplovákové Buchholzovo relé, magnetický snímač hladiny oleje s kontakty, teploměr teploty oleje s nastavitelnými kontakty, teploměr teploty vinutí s nastavitelnými kontakty a přetlakový ventil,
- transformátor nemá účinně uzemněný nulový bod, proto není použita zemní nádobová ochrana,
- časové nastavení nadproudových ochran vyhovuje, proto není použita rozdílová ochrana pro šetření časů nadproudových ochran,
- přepět'ové ochrany v kobkách.

5.4 Rekonstrukce přírodních kobek rozvodny Válcovna AB 6 kV

Rekonstruovat se budou tři přírodní kobky č. 2, 26 a 68. Tyto kobky budou shodné. Lišit se budou jen v označení. Kobka č. 2 má značení +RR02, průběžné vodiče napojené do kobky č. 4, pro kobku č. 26 by se použilo značení místa +RR26, průběžné vodiče napojené do kobek č. 24 a 26, pro kobku č. 68 značení +RR68, průběžné vodiče napojené do kobek č. 66 a 67. Rekonstruovat se budou silové části a řídicí skříně. Následující rekonstrukce vývodních kobek, kobek se spojkami a kobky k propojení s jinými rozvodnami se budou realizovat později a nejsou předmětem této práce. V silové části zůstanou stávající hlavní sběrný rozvodny 2x Al 100/10 mm. Vymění se sběrný 2x Al 100/10 mm od hlavních sběrů až k transformátorům +TP1, +TP2 a +TP3. V kobce se vymění odpojovače +Q1, +Q2, vakuový vypínač +QM1, podpěrné izolátory J16-75 s držáky sběrů, tři měřicí transformátory proudu -TA1, -TA2, -TA3, tři měřicí transformátory napětí -TV1, -TV2, -TV3 a tři přepětíové ochrany -FV1. Kobka se doplní úhelníky pro přichycení zkratovacích souprav.

Řídicí skříň se vymění kompletně celá. Řídicí skříň je oceloplechová šedé barvy s rozměry 2000 x 1300 x 400 mm a bude umístěná na rámu s výškou 200 mm. Skříň bude s prosklením a krytím IP40, který umožní pohled na elektroměr a ochrany bez otevření dveří skříně. Nad skříní bude prosklený ochranný štít pro případ ruční manipulace s odpojovači.

V logice zapojení řídicí skříně jsou navzájem blokovány odpojovače, tak aby šel sepnout jen jeden. Ovládání odpojovačů je dále blokováno na vypínač, pokud je zapnutý a na příčnou spojku, pomocí průběžných vodičů. Pokud je některý odpojovač v mezipoloze, nelze zapnout vypínač. Blokování jde zrušit pomocí přepínače SA3 na dveřích řídicí skříně tehdy, pokud je řídicí skříň v režimu ovládání místně na přepínači SA2. Volba režimu deblok (zrušení blokování) pomocí přepínače SA3 není určena pro běžný provoz.

Stav odpojovačů a vypínače je signalizován na dveřích řídicí skříně a v řídicím systému. Ovládat odpojovače a vypínač lze místně tlačítkovými ovládači na dveřích řídicí skříně a dálkově pomocí řídicího systému. Vypínač lze vypnout rovněž od příslušného výkonového transformátoru.

Přílohou této práce jsou výkresy návrhu řídicí skříně +RR02 pro kobku č. 2. Ve výkresech je použito referenční značení:

= pro funkční celek (příklad: =R_VAB pro rozvodnu Válcovna AB 6 kV)

+ pro umístění (příklad: +RR02 pro řídicí skříň kobky č. 2)

- pro funkční jednotku (příklad: -F2 pro srovnávací ochranu)

Pro řídicí skříně kobky č. 26 a 68 by byla výkresová dokumentace shodná s kobkou č. 2, kromě označení řídicí skříně, vývodů z kobky a průběžných kabelových vedení. Další přílohou práce jsou výkresy: jednopólové schémata rozveden T2 22 kV a Válcovna AB 6 kV, situace kabelových tras a situace v rozvodně Válcovna AB 6 kV.

Rekonstrukce rozvodny Válcovna AB 6 kV bude mít zanedbatelný dopad na životní prostředí. Dementované zařízení bude zlikvidované v souladu s platnou legislativou.

Rozvodna se vybaví ochrannými pracovními pomůckami (OPP) a pracovními pomůckami: záchranným hákem, ovládacími tyčemi pro odpojovače, zkratovacími soupravami, nosítka, izolačními deskami, žebříkem, konopnými lany, pryžovými izolačními koberci, ochrannými pásy, gumovými galošemi a zábranami.

Ochranné pracovní pomůcky a pracovní pomůcky, které s sebou bude nosit obsluha: zkoušečka napětí, fázovací tyče, pryžové ochranné rukavice, ochranné brýle nebo štíty a izolované nářadí.

6. Posílení přívodních kabelů 22 kV a ověření zkratové odolnosti v rozvodně Válcovna AB

6.1 Výběr kabelů a výpočet jejich parametrů

Proud na primární straně nových transformátorů TP1, TP2, TP3

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{25000000}{\sqrt{3} \cdot 23000} = 627,6 \text{ A} \quad (6.1)$$

Proud na sekundární straně nových transformátorů TP1, TP2, TP3

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{25000000}{\sqrt{3} \cdot 6300} = 2291,1 \text{ A} \quad (6.2)$$

Mezi sekundární stranou transformátorů a přívodními kobkami v rozvodně Válcovna AB 6 kV jsou použité Al. sběrný. Tyto sběrný se budou dimenzovat na jmenovitý proud $I_n = 2291,1 \text{ A}$. Sběrný budou natřené oranžovou barvou a označené černými proužky podle pořadí fáze.

Z tabulek výrobce jsem vybral sběrný 2x Al 100/10.

Materiál: E – Al 99,5 %, dovolená provozní teplota 85 °C

Parametry pro natřené sběrný s okolní teplotou 35 °C:

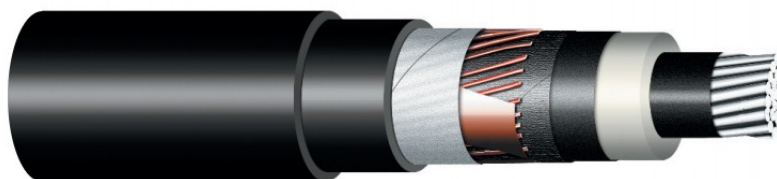
svisle 3000 A, vodorovně 2540 A.

Parametry pro natřené sběrný s okolní teplotou 45 °C:

svisle 2700 A, vodorovně 2300 A.

Jmenovitý proud na který se dimenzují kabely.

$$I_n = 627,6 \text{ A}$$



Obr. 16 Silový kabel s izolací ze zesíťného polyetylenu 22-AXEKVCEY (nkt cables) [9]

Jednotlivé vrstvy kabelu 22-AXEKVCEY:

hliníkové jádro, vnitřní polovodivá vrstva, izolace ze zesíťného polyetylenu, vnější polovodivá vrstva, polovodivá vodoblokující páska, stínění měděnými dráty s protispirálou z měděné pásky, vodoblokující páska, vnější PE a PVC plášť

Tabulka č. 1 – Parametry kabelů [9]

	22-AXEKVCEY 1x240/5 mm ²	22-AXEKVCEY 1x300/25 mm ²	22-AXEKVCEY 1x400/35 mm ²	22-AXEKVCEY 1x500/35 mm ²
$R_{20^{\circ}\text{C}}$	0,125 $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$	0,100 $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$	0,078 $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$	0,061 $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$
C	0,30 $\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$	0,32 $\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$	0,36 $\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$	0,40 $\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$
L_{Δ}	0,36 mH $\cdot \text{km}^{-1}$	0,34 mH $\cdot \text{km}^{-1}$	0,33 mH $\cdot \text{km}^{-1}$	0,31 mH $\cdot \text{km}^{-1}$
$L_{\text{PARALELNĚ}}$	0,52 mH $\cdot \text{km}^{-1}$	0,50 mH $\cdot \text{km}^{-1}$	0,48 mH $\cdot \text{km}^{-1}$	0,46 mH $\cdot \text{km}^{-1}$
Ekvivalentní zkratový proud	22,7 kA	28,4 kA	37,8 kA	47,8 kA
Ekvivalentní zkratový proud stínění	5,0 kA	5,0 kA	7,0 kA	7,0 kA
Časová oteplovací konstanta v Δ	924 s	1116 s	1443 s	1790 s
Časová oteplovací konstanta - paralelně	760 s	937 s	1262 s	1657 s
Proudová zatížitelnost na vzduchu v Δ	496 A	569 A	660 A	766 A
Proudová zatížitelnost na vzduchu - paralelně	581 A	663 A	753 A	866 A
Cena	292686 Kč $\cdot \text{km}^{-1}$	374484 Kč $\cdot \text{km}^{-1}$	457372 Kč $\cdot \text{km}^{-1}$	521182 Kč $\cdot \text{km}^{-1}$

Použití kabelu: je určený pro volné uložení ve vzduchu na nosné konstrukce, do země, do tvárníc a do trubek z nemagnetického materiálu. Dle ČSN 332000-5-52 ed. 2 pro prostředí obyčejné i vlhké.
Vybraný kabel: 22-AXEKVCEY 1x400/35 mm²

Typ kabelu byl domluven na jednání se zástupcem zadavatele. Typ kabelu je využíván zadavatelem pro uložení na energomostech a umožňuje díky své kvalitě vynechat čtvrtý rezervní souběžný kabel, čímž dojde ke snížení nákladů. Pro použití varianty paralelních kabelů uložených ve dvou trojúhelnících 2x 22-AXEKVCEY 1x240/5 mm² není zajištěné místo na lávkách energomostů po celé délce trasy. Kabely budou uloženy na stávající nehořlavý podklad a přichyceny novými kabelovými svorkami s konzolami do trojúhelníku. Původní kabely 22-AXEKVCEY 1x 240/25 mm² a ANKOY 1x 240 mm², včetně svorek a konzolí budou demontovány a ekologicky dle platné legislativy zlikvidovány. V případě, že budou použity kabely kratší délky než je celková délka kabelu, použijí se kabelové spojky. Délka vyráběných kabelů je v rozsahu 500 až 6000 m a podmínky pro dodání větší délky než je 500 m jsou předmětem dohody mezi výrobcem a odběratelem a nejsou součástí katalogu. Konce kabelů se opatří vnitřními vn koncovkami. Po ukončení instalace se opraví protipožární přepážky a kryty proti vniknutí zvěře.

Parametry kabelů

T2 k. č. 15 – TP1

$$l_{V1} = 1750 \text{ m}$$

$$R_{V1} = R_{20^\circ\text{C}} \cdot l_{V1} = 0,078 \cdot 1,75 = 0,1365 \, \Omega \quad (6.3)$$

$$L = L_\Delta \cdot l_{V1} = 0,33 \cdot 1,75 = 0,5775 \text{ mH} \quad (6.4)$$

$$X_{V1} = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,5775 \cdot 10^{-3} = 0,181427 \, \Omega \quad (6.5)$$

T2 k. č. 16 – TP2

$$l_{V2} = 2500 \text{ m}$$

$$R_{V2} = R_{20^\circ\text{C}} \cdot l_{V2} = 0,078 \cdot 2,5 = 0,195 \, \Omega \quad (6.6)$$

$$L = L_\Delta \cdot l_{V2} = 0,33 \cdot 2,5 = 0,825 \text{ mH} \quad (6.7)$$

$$X_{V2} = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,825 \cdot 10^{-3} = 0,259181 \, \Omega \quad (6.8)$$

T2 k. č. 11 – TP3

(stejně jak T2 k. č. 16 – TP2)

$$R_{V3} = 0,195 \, \Omega$$

$$X_{V3} = 0,259181 \, \Omega$$

Přepočet parametrů kabelů pro zkrat na napěťové hladině 6 kV.

$$Z_{V1_6} = Z_{V1} \cdot \left(\frac{U_2}{U_3} \right)^2 = (0,1365 + j0,181427) \cdot \left(\frac{6300}{23000} \right)^2 = 0,010241 + j0,013612 \, \Omega \quad (6.9)$$

$$Z_{V2_6} = Z_{V2} \cdot \left(\frac{U_2}{U_3} \right)^2 = (0,195 + j0,259181) \cdot \left(\frac{6300}{23000} \right)^2 = 0,014631 + j0,019446 \, \Omega \quad (6.10)$$

$$Z_{V3_6} = Z_{V3} \cdot \left(\frac{U_2}{U_3} \right)^2 = (0,195 + j0,259181) \cdot \left(\frac{6300}{23000} \right)^2 = 0,014631 + j0,019446 \, \Omega \quad (6.11)$$

6.2 Výpočet úbytku napětí na vedení

Kabelové vedení V1

$$R_{V1} = 0,1365 \, \Omega$$

$$X_{V1} = 0,181427 \, \Omega$$

$$U = 23 \text{ kV}$$

$$\cos \varphi = 0,9$$

$$I = 627,6 \text{ A}$$

(6.12)

$$\Delta U_{V1} = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R_{V1} \cdot \cos(\varphi) + X_{V1} \cdot \sin(\varphi)) = \sqrt{3} \cdot 627,6 \cdot (0,1365 \cdot 0,9 + 0,181427 \cdot 0,43589) = 219,5 \text{ V}$$

$$\Delta u_{V1\%} = \frac{\Delta U_{V1}}{U} \cdot 100 = \frac{219,5}{23000} \cdot 100 = 0,95\% \quad (6.13)$$

Kabelové vedení V2, V3

$$R_{V1} = 0,195 \, \Omega$$

$$X_{V1} = 0,259181 \, \Omega$$

$$U = 23 \, \text{kV}$$

$$\cos \varphi = 0,9$$

$$I = 627,6 \, \text{A}$$

$$\Delta U_{V1} = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R_{V1} \cdot \cos(\varphi) + X_{V1} \cdot \sin(\varphi)) = \sqrt{3} \cdot 627,6 \cdot (0,195 \cdot 0,9 + 0,259181 \cdot 0,43589) = 313,6 \, \text{V} \quad (6.14)$$

$$\Delta u_{V1\%} = \frac{\Delta U_{V1}}{U} \cdot 100 = \frac{313,6}{23000} \cdot 100 = 1,36 \, \% \quad (6.15)$$

Úbytky napětí jsou menší než 5 %, odchylky od dohodnutého napětí jsou menší než 10 %.

Kabely z hlediska úbytků napětí vyhovují.

6.3 Zkratové poměry v rozvodně T2 22 kV

Rozvodna T2 22 kV je napájena přes rozvodnu R 110 kV Ropice z rozvodny R 110 kV Albrechtice, spojka v T4 je rozpojena. Trafa T111 a T112 nejsou na sekundární straně na sběrnách spojené. Pro rozvodnu Válcovna AB 6 kV se využívá jen transformátor T111.

Varianta s příspěvky z TŽ (T2, T3, T4) - T2 110 kV

$$\min S''_{ks3} = 1966,30 \, \text{MVA}$$

$$\min I''_{ks3} = 10,32 \, \text{kA}$$

$$\min S''_{ks1} = 1666,10 \, \text{MVA}$$

$$\min I''_{ks1} = 8,72 \, \text{kA}$$

Varianta bez příspěvků z TŽ (T2, T3, T4) - T2 110 kV

$$\min S''_{ks3} = 1765,30 \, \text{MVA}$$

$$\min I''_{ks3} = 9,27 \, \text{kA}$$

$$\min S''_{ks1} = 1553,30 \, \text{MVA}$$

$$\min I''_{ks1} = 8,13 \, \text{kA}$$

Reaktance soustavy, rozvodna T2 110 kV.

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I''_{k3}} = \frac{1 \cdot 110000}{\sqrt{3} \cdot 10320} = 6,1539 \, \Omega \quad (6.16)$$

$$X_Q = Z_T = 6,1539 \, \Omega \quad (\text{Považuji soustavu za oddělenou od místa zkratu.})$$

Přepočet reaktanci soustavy na napěťovou hladinu zkratu na úrovni 22 kV a 6 kV.

$$X_{Q_{22}} = X_T \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 6,1539 \cdot \left(\frac{23000}{110000} \right)^2 = 0,26904 \, \Omega \quad (6.17)$$

$$X_{Q_6} = X_T \cdot \left(\frac{U_3}{U_1} \right)^2 = 6,1539 \cdot \left(\frac{6300}{110000} \right)^2 = 0,0201858 \, \Omega \quad (6.18)$$

Transformátor T111 (trojvinutový, jedno vinutí je nezapojeno, 40//40/(13) MW, 110/23/(6,3) kV), proto počítám jako dvouvinutové.

$$U_1 = 110 \, \text{kV}$$

$$U_2 = 23 \, \text{kV}$$

$$I_1 = 209,9 \, \text{A}$$

$$I_2 = 1004,1 \, \text{A}$$

$$S_v = 40 \, \text{MVA}$$

$$u_k = 11,63 \, \%$$

$$P_k = 175,7 \, \text{kW}$$

$$\text{YNyn0(d)}$$

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_2^2}{100 \cdot S_v} = \frac{11,63 \cdot 23000^2}{100 \cdot 40 \cdot 10^6} = 1,5381 \, \Omega \quad (6.19)$$

$$R_T = \frac{P_k \cdot U_2^2}{S_v^2} = \frac{0,1757 \cdot 10^6 \cdot 23000^2}{(40 \cdot 10^6)^2} = 0,058091 \, \Omega \quad (6.20)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{1,5381^2 - 0,058091^2} = 1,5370 \, \Omega \quad (6.21)$$

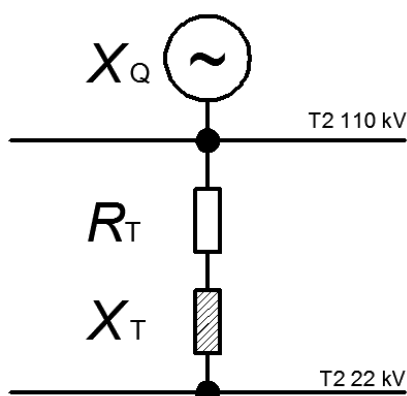
$$R_T = 0,058091 \, \Omega$$

$$X_T = 1,5370 \, \Omega$$

$$U_n = 22 \, \text{kV}$$

Přepočet impedance transformátoru na napěťovou hladinu zkratu na úrovni 6 kV.

$$Z_{T_6} = Z_T \cdot \left(\frac{U_2}{U_3} \right)^2 = (0,058091 + j 1,5370) \cdot \left(\frac{6300}{23000} \right)^2 = 0,00435847 + j 0,11531858 \, \Omega \quad (6.22)$$



Obr. 17 Ropice – T2, impedance

$$Z_{QT} = Z_{Q_{22}} + Z_T = (R_T) + j(X_Q + X_T) = (0,058091) + j(0,26904 + 1,5370) = 0,058091 + j1,80604 \, \Omega \quad (6.23)$$

Minimální trojfázový rázový zkrat v rozvodně T2 – 22 kV při běžném provozu:

$$I''_{k3} = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{QT}} = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{QT}^2 + X_{QT}^2}} = \frac{1,0 \cdot 23000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,058091^2 + 1,80604^2}} = 7,349 \, \text{kA} \quad (6.24)$$

Maximální trojfázový rázový zkrat v rozvodně T2 – 22 kV při běžném provozu:

$$I''_{k3} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{QT}} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{QT}^2 + X_{QT}^2}} = \frac{1,1 \cdot 23000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,058091^2 + 1,80604^2}} = 8,084 \, \text{kA} \quad (6.25)$$

Počáteční souměrný rázový zkratový výkon v rozvodně T2 – 22 kV při běžném provozu:

$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 23 \cdot 10^3 \cdot 8,084 \cdot 10^3 = 322 \, \text{MVA} \quad (6.26)$$

Minimální dvojfázový zkrat v rozvodně T2 při běžném provozu:

V počáteční fázi zkratu můžeme uvažovat $Z_{(1)} = Z_{(2)}$.

$$I''_{k2} = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} = \frac{1 \cdot 23000}{2 \cdot \sqrt{0,058091^2 + 1,80604^2}} = 6,364 \, \text{kA} \quad (6.27)$$

Maximální dvojfázový zkrat v rozvodně T2 při běžném provozu:

$$I''_{k2} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} = \frac{1,1 \cdot 23000}{2 \cdot \sqrt{0,058091^2 + 1,80604^2}} = 7,001 \, \text{kA} \quad (6.28)$$

6.4 Zkratové poměry v rozvodně Válcovna AB 6 kV

Dopočítat dva stávající stejné reaktory.

$$u_{kR} = 4,85 \%$$

$$U_n = 6300 \text{ kV}$$

$$I_{rR} = 1000 \text{ A}$$

$$X_R = \frac{u_{kR} \cdot U_n}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{rR}} = \frac{10 \cdot 4,85 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot 1000} = 0,1764093 \Omega \quad (6.29)$$

$$R_R = 0,01 \cdot X_R = 0,001 \cdot 0,1764093 = 0,001764 \Omega \quad (6.30)$$

$$Z_{R1} = 0,001764 + j0,1764093 \Omega$$

$$Z_{R2} = 0,001764 + j0,1764093 \Omega$$

Hodnoty pro výpočet zkratových poměrů:

$$Z_{Q_6} = 0 + j0,020185 \Omega$$

$$Z_{T_6} = 0,004358 + j0,115318 \Omega$$

$$Z_{V1_6} = 0,010241 + j0,013612 \Omega$$

$$Z_{V2_6} = 0,014631 + j0,019446 \Omega$$

$$Z_{V3_6} = 0,014631 + j0,019446 \Omega$$

$$Z_{T1} = 0,0063504 + j0,15862 \Omega$$

$$Z_{T2} = 0,0063504 + j0,15862 \Omega$$

$$Z_{T3} = 0,0063504 + j0,15862 \Omega$$

$$Z_{R1} = 0,001764 + j0,1764093 \Omega$$

$$Z_{R2} = 0,001764 + j0,1764093 \Omega$$

Počítají se jen trojfázové a dvojfázové zkratové proudy. Soustavy 22 kV a 6 kV jsou typu IT s izolovaným uzlem. Protože není žádná fáze ani uzel transformátoru uzemněný, a to přímo, nebo přes malou impedanci, nedochází při spojení jedné fáze se zemí ke zkratu, ale k zemnímu spojení. Což je nežádoucí jev, jehož zjištění lze ošetřit zemními směrovými ochranami, nebo hlídači izolačního stavu. Při jednofázovém zemním spojení se IT soustavy většinou nevypínají, ale zahájí se práce na identifikování poruchy a její příčiny.

Minimální dvojfázový rázový zkrat v rozvodně VAB – SEKCE 1 – 6 kV při běžném provozu:

$$I''_{k2} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{2 \cdot Z_{K1}} = \frac{1,0 \cdot 6300}{2 \cdot \sqrt{0,0143^2 + j0,25144^2}} = 12,507 \text{ kA} \quad (6.38)$$

Maximální dvojfázový rázový zkrat v rozvodně VAB – SEKCE 1 – 6 kV při běžném provozu:

$$I''_{k2} = \frac{c_{max} \cdot U_n}{2 \cdot Z_{K1}} = \frac{1,1 \cdot 6300}{2 \cdot \sqrt{0,0143^2 + j0,25144^2}} = 13,758 \text{ kA} \quad (6.39)$$

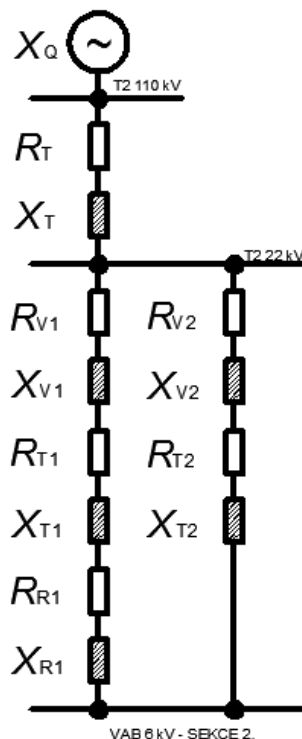
Nárazový zkratový proud při trojfázovém zkratu v rozvodně VAB – SEKCE 1 – 6 kV při běžném provozu:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{0,0143}{0,25144}} = 1,84628 \quad (6.40)$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k3} = 1,84628 \cdot \sqrt{2} \cdot 15887 = 41,481 \text{ kA} \quad (6.41)$$

Nárazový zkratový proud při dvojfázovém zkratu v rozvodně VAB – SEKCE 1 – 6 kV při běžném provozu:

$$i_{p2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k2} = 1,84628 \cdot \sqrt{2} \cdot 13758 = 35,922 \text{ kA} \quad (6.42)$$



Obr. 19 Impedance pro R-VAB 6 kV – SEKCE 2

$$Z_A = Z_{V1_6} + Z_{T1} + Z_{R1} = (0,010241 + j0,013612) + (0,0063504 + j0,15862) + (0,001764 + j0,1764093) = 0,01836 + j0,34864 \Omega \quad (6.43)$$

$$Z_B = Z_{V2_6} + Z_{T2} = (0,014631 + j0,019446) + (0,0063504 + j0,15862) = 0,02098 + j0,17807 \Omega \quad (6.44)$$

$$Z_C = \frac{Z_A \cdot Z_B}{Z_A + Z_B} = \frac{(0,01836 + j0,34864) \cdot (0,02098 + j0,17807)}{(0,01836 + j0,34864) + (0,02098 + j0,17807)} = 0,01128 + j0,11798 \Omega \quad (6.45)$$

$$Z_{K2} = Z_{Q_6} + Z_{T_6} + Z_C = (0 + j0,020185) + (0,004358 + j0,115318) + (0,01128 + j0,11798) = 0,01564 + j0,25348 \Omega \quad (6.46)$$

Minimální trojfázový rázový zkrat v rozvodně VAB – SEKCE 2 – 6 kV při běžném provozu:

$$I''_{k3} = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2}} = \frac{1,0 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,01564^2 + j0,25348^2}} = 14,322 \text{ kA} \quad (6.47)$$

Maximální trojfázový rázový zkrat v rozvodně VAB – SEKCE 2 – 6 kV při běžném provozu:

$$I''_{k3} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2}} = \frac{1,1 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,01564^2 + j0,25348^2}} = 15,754 \text{ kA} \quad (6.48)$$

Počáteční souměrný rázový zkratový výkon v rozvodně VAB – SEKCE 2 – 6 kV při běžném provozu:

$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 10^3 \cdot 15,754 \cdot 10^3 = 172 \text{ MVA} \quad (6.49)$$

Minimální dvojfázový rázový zkrat v rozvodně VAB – SEKCE 2 – 6 kV při běžném provozu:

$$I''_{k2} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{2 \cdot Z_{K1}} = \frac{1,0 \cdot 6300}{2 \cdot \sqrt{0,01564^2 + j0,25348^2}} = 12,403 \text{ kA} \quad (6.50)$$

Maximální dvojfázový rázový zkrat v rozvodně VAB – SEKCE 2 – 6 kV při běžném provozu:

$$I''_{k2} = \frac{c_{max} \cdot U_n}{2 \cdot Z_{K1}} = \frac{1,1 \cdot 6300}{2 \cdot \sqrt{0,01564^2 + j0,25348^2}} = 13,644 \text{ kA} \quad (6.51)$$

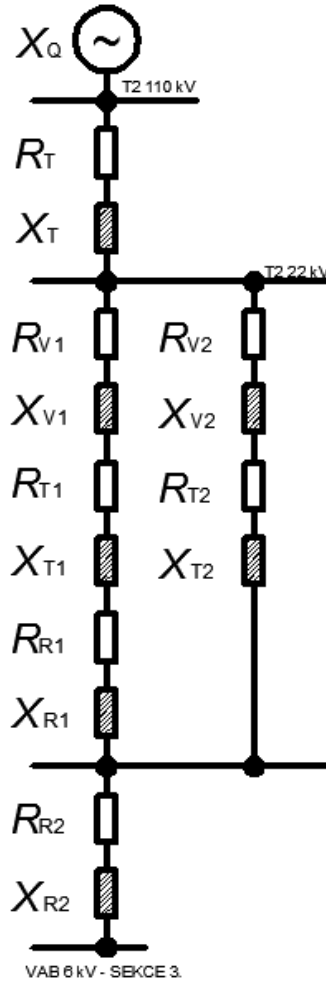
Nárazový zkratový proud při trojfázovém zkratu v rozvodně VAB – SEKCE 2 – 6 kV při běžném provozu:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{0,01564}{0,25348}} = 1,83440 \quad (6.52)$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k3} = 1,83440 \cdot \sqrt{2} \cdot 15,754 = 40,869 \text{ kA} \quad (6.53)$$

Nárazový zkratový proud při dvojfázovém zkratu v rozvodně VAB – SEKCE 2 – 6 kV při běžném provozu:

$$i_{p2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k2} = 1,83440 \cdot \sqrt{2} \cdot 13,644 = 35,395 \text{ kA} \quad (6.54)$$



Obr. 20 Impedance pro R-VAB 6 kV – SEKCE 3

$$Z_A = Z_{V1_6} + Z_{T1} + Z_{R1} = (0,010241 + j0,013612) + (0,0063504 + j0,15862) + (0,001764 + j0,1764093) = 0,01836 + j0,34864 \Omega \quad (6.55)$$

$$Z_B = Z_{V2_6} + Z_{T2} = (0,014631 + j0,019446) + (0,0063504 + j0,15862) = 0,02098 + j0,17807 \Omega \quad (6.56)$$

$$Z_C = \frac{Z_A \cdot Z_B}{Z_A + Z_B} = \frac{Z_A \cdot Z_B}{Z_A + Z_B} = \frac{(0,01836 + j0,34864) \cdot (0,02098 + j0,17807)}{(0,01836 + j0,34864) + (0,02098 + j0,17807)} = 0,01128 + j0,11798 \Omega \quad (6.57)$$

$$Z_{K3} = Z_{Q_6} + Z_{T_6} + Z_C + Z_{R2} = (0 + j0,020185) + (0,004358 + j0,115318) + (0,01128 + j0,17807) + (0,001764 + j0,1764093) = 0,0174 + j0,42989 \Omega \quad (6.58)$$

Minimální trojfázový rázový zkrat v rozvodně VAB – SEKCE 3 – 6 kV při běžném provozu:

$$I''_{k3} = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_n} = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{1,0 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,0174^2 + j0,42989^2}} = 8,454 \text{ kA} \quad (6.59)$$

Maximální trojfázový rázový zkrat v rozvodně VAB – SEKCE 3 – 6 kV při běžném provozu:

$$I''_{k3} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_n} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{1,1 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,0174^2 + j0,42989^2}} = 9,299 \text{ kA} \quad (6.60)$$

Počáteční souměrný rázový zkratový výkon v rozvodně VAB – SEKCE 3 – 6 kV při běžném provozu:

$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 10^3 \cdot 9,299 \cdot 10^3 = 101 \text{ MVA} \quad (6.61)$$

Minimální dvojfázový rázový zkrat v rozvodně VAB – SEKCE 2 – 6 kV při běžném provozu:

$$I''_{k2} = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{2 \cdot Z_{K3}} = \frac{1,0 \cdot 6300}{2 \cdot \sqrt{0,0174^2 + j0,42989^2}} = 12,507 \text{ kA} \quad (6.62)$$

Maximální dvojfázový rázový zkrat v rozvodně VAB – SEKCE 2 – 6 kV při běžném provozu:

$$I''_{k2} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{2 \cdot Z_{K3}} = \frac{1,1 \cdot 6300}{2 \cdot \sqrt{0,0174^2 + j0,42989^2}} = 8,054 \text{ kA} \quad (6.63)$$

Nárazový zkratový proud při trojfázovém zkratu v rozvodně VAB – SEKCE 3 – 6 kV při běžném provozu:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{0,0174}{0,42989}} = 1,88794 \quad (6.64)$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k3} = 1,88794 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,299 = 24,828 \text{ kA} \quad (6.65)$$

Nárazový zkratový proud při dvojfázovém zkratu v rozvodně VAB – SEKCE 3 – 6 kV při běžném provozu:

$$i_{p2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k2} = 1,88794 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,054 = 21,504 \text{ kA} \quad (6.66)$$

Vyhodnocení výpočtu zkratových proudů.

Rozvodna Válcovna AB 6 kV má dle své dokumentace zkratový výkon $S''_{k3} = 400$ MVA.

Výpočty pro jednotlivé sekce rozvodny při běžném provozu:

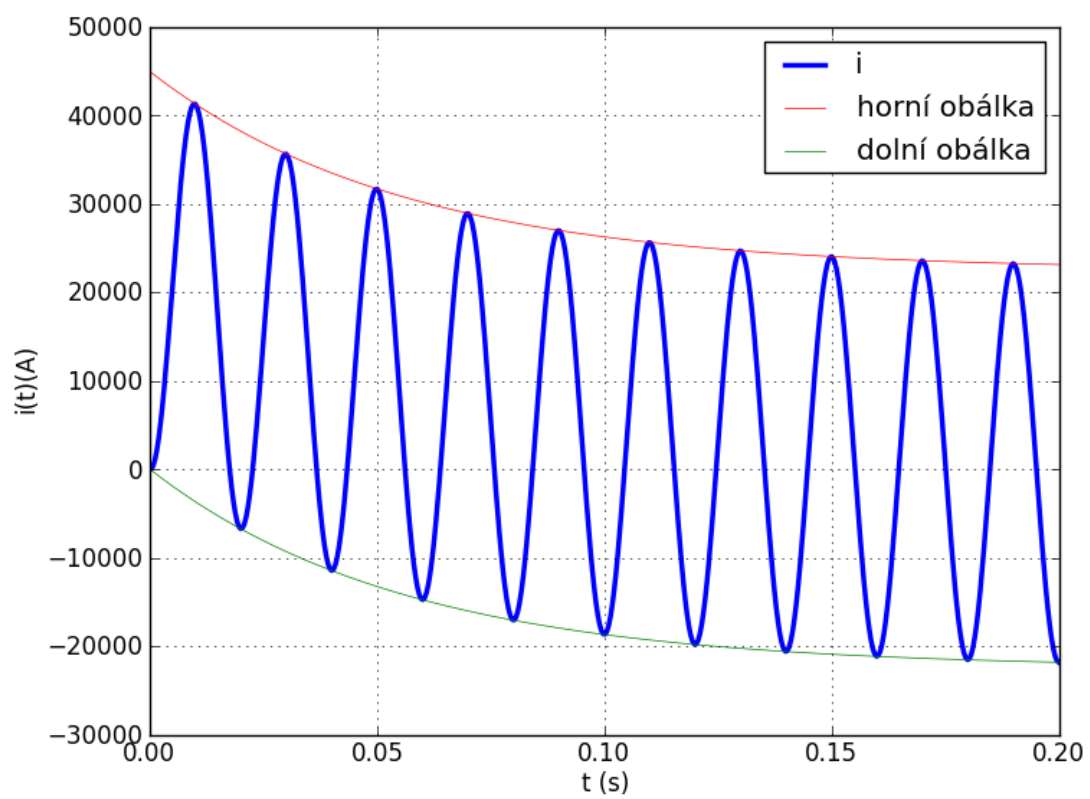
Sekce 1 - $S''_{k3} = 173$ MVA

Sekce 2 - $S''_{k3} = 172$ MVA

Sekce 3 - $S''_{k3} = 101$ MVA

Počáteční souměrný rázový zkratový výkon je pomyslná hodnota, která se z historických důvodů používá k popisu vn rozvodu s ohledem na její dimenzování na zkratové proudy. Současná norma ČSN EN 60909-0 už pro výpočet zkratových poměrů, zkratový výkon používá v omezené míře.

Při ověření zkratového výkonu v jednotlivých sekcích rozvodny Válcovna AB 6 kV při použití nových transformátorů vyšly zkratové výkony nižší, než na jaké je dimenzovaná rozvodna. Proto není nutné instalovat na jednotlivé přívody reaktory z důvodu zkratových poměrů. Instalace reaktorů má své výhody i nevýhody. Nevýhodou jsou vyšší ztráty a obsazené místo pro fyzické umístění reaktoru. Ne vždy je ve vývodovém prostoru dostatek místa pro umístění reaktoru. Výhodou jsou menší zkratové proudy, prodloužení životnosti spínacích prvků. Hlavními parametry reaktoru jsou jmenovitý proud, jmenovité napětí a reaktance (impedanční napětí nakrátko). Parametry reaktoru se domlouvají smluvně. Základní řadu tvoří 3, 5, 8, 10 % impedančního napětí nakrátko.



Obr. 21 Průběh zkratového proudu v R-VAB 6 kV – SEKCE 1

6.5 Výpočty zkratových poměrů ve skriptovacím jazyku Python

Hledal jsem vhodný software pro výpočet zkratových proudů pro technickou praxi. Programy používané během studia v jednotlivých předmětech: Matcad – integrované prostředí pro vědeckotechnické výpočty za 59 980 Kč, Matlab – systém pro výpočty zadávající se přímo matematickým zápisem za 42 300 Kč a EMTP-ATP (výpočtový program pro modelování v elektrotechnice, cena nezveřejněná, nutnost jednat o licenci) jsou co do realizace výpočtů vhodné, nevýhodou je cena licence pro komerční použití.

Pro výpočet zkratů v síti nn jsou zdarma dostupné software dodávané výrobcí jistících prvků. Součástí je databáze jistících prvků výrobce. Tyto programy nejdou použít pro síť vn. Například program SICHR od firmy OEZ s.r.o.

U zadavatele je dostupný program ZKRATY 2.0 od firmy Elcom. Nevýhody: program již nelze zakoupit a byla omezena doba přístupu k počítači, na kterém je program nainstalovaný.

Další možnost byla použít zdarma dostupné programy. Rozhodl jsem se pro Python, což je objektově orientovaný skriptovací programovací jazyk. Nabízí se zdarma a instalační balíčky jsou dostupné mimo jiné pro Windows, Mac OS, Linux. Program je vyvíjen jako open source projekt.

Jazyk lze použít i pro tvorbu rozsáhlých aplikací. Jazyk se hodnotí jako poměrně jednoduchý pro naučení s výhodným poměrem doby programování k výstupu z aplikace. Programy napsané v tomto jazyku lze spouštět bez kompilace. K programovacímu jazyku je velké množství modulů a knihoven, které usnadní práci na zvoleném tématu.

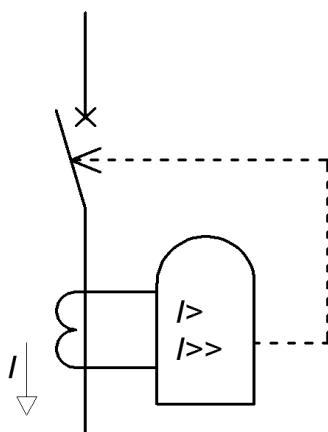
Příklady použitých příkazů jazyka Python pro použití s komplexními čísly:

```
>>> Z1 = complex(0,0.1365) # deklarování proměnné
>>> Z2 = 0.1365 + 0.1814j # # deklarování proměnné
>>> Z3 = Z1/Z2 # dělení komplexních čísel
>>> Z4 = abs(Z3) # absolutní hodnota komplexního čísla
>>> from pylab import * # načtení knihovny pylab
>>> print ("Z3 =", np.round(Z3, 5), "Q")
>>> # vypsání zaokrouhlené proměnné na 5 desetinných míst
>>> print (Z3.real) # vypsání reálné složky komplexního čísla
>>> print (Z3.imag) # vypsání imaginární složky komplexního čísla
```

Celý výpis programu je v příloze diplomové práce

6.6 Výběr nadproudové ochrany

Nadproudová ochrana – působí při nadproudech a zkratech. Z hlediska průběhu nadproudu a času se rozlišují tyto základní charakteristiky ochrany: mžiková, nezávislá nadproudová, polozávislá nadproudová a závislá nadproudová. Využívá se v méně důležitých případech jako hlavní ochrana. U důležitých případů se využívá jako záložní ochrana. Její výhodou je jednoduchost použití, nevýhodou je problematická selektivita, kdy nejvyšší proudy se vypínají za nejvyšší nastavený čas.



Obr. 22 Princip funkce nadproudové ochrany

Vybraná nadproudová ochrana je z novější řady firmy Siemens.

Multifunkční ochrana SIPROTEC Compact 7SJ80

7SJ8011-5BB00-1FA0

Měřicí vstupy, binární vstupy a výstupy: 1 – skříň 1/6 19", 4x I, 5BO (2 přepínací), 1 lífekontakt

Měřicí vstupy, přednastavení I: 1 – $I_{ph} = 1 \text{ A}$, $I_e = 1 \text{ A} / 5 \text{ A}$

Pomocné napětí: 5 – DC 60 V/ 110 V/ 125 V/ 220 V/ 250 V, AC 115 V/ AC 230 V

Konstrukční provedení: B – provedení na panel, šroubové spojky

Regionální přednastavení, výrazy funkcí a přednastavený jazyk:

B – region Svět, IEC/ANSI, anglický jazyk (přepínatelný), čelní fólie standardní

Port B (spodní strana přístroje, zadní): 0 – neobsazeno

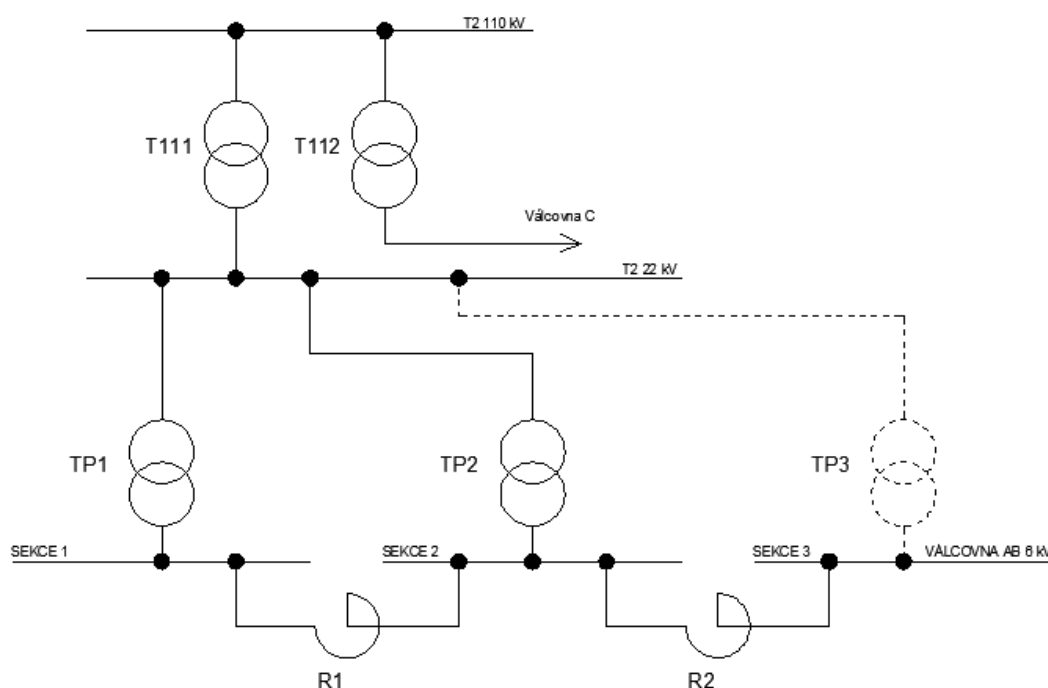
Port A (spodní strana přístroje, přední): 0 – neobsazeno

Měření/poruchový zapisovač: 1 – s poruchovým zapisovačem

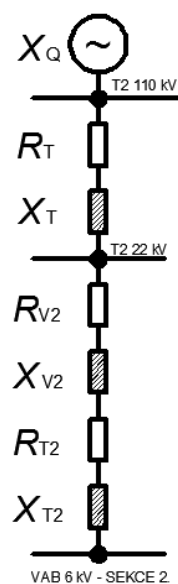
6.7 Nastavení nadproudových ochran

Pro nastavení ochran se používají hodnoty při minimálních zkratech. Ve výpočtech pro nastavení nadproudových ochran je zvažovaná situace, kdy je rozvodna napájena transformátorem TP2 a vývody s možnými příspěvky jsou odpojené. Požadavek zadavatele zněl, aby nadproudové ochrany v rozvodně Válcovna AB 6 kV v přívodních kobkách měly stejné parametry nastavení, proto byl pro výpočet zvolen transformátor s delším přívodním kabelovým vedením. V případě, že by vyvstal požadavek na jištění za jiných podmínek, například použití okružního vedení nebo ostrovní provoz, musí se v ochranách nastavit další parametrická sada odpovídající požadavkům. Přestože 90 % zkratů na vn kabelovém vedení jsou trojpólové, počítají se i dvojpólové zkraty, protože trojpólový zkrat může začít jako dvojpólový.

V běžné provozu se využívají transformátory TP1 a TP2. Transformátor TP3 je záložní.



Obr. 23 Schéma běžného provozu



Obr. 24 Schéma pro výpočet zkratového proudu pro nastavení ochrany

$$Z_{S2} = Z_{Q_6} + Z_{T_6} + Z_{V2_6} + Z_{T2} = (0 + j0,020185) + (0,004358 + j0,115318) + (0,014631 + j0,019446) + (0,0063504 + j0,15862) = 0,02534 + j0,31357 \, \Omega$$

$$I''_{k3} = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{S2}} = \frac{1 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,02534^2 + 0,31357^2}} = 11,562 \, \text{kA} \quad (6.67)$$

$$I''_{k2} = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{2 \cdot Z_{S2}} = \frac{1 \cdot 6300}{2 \cdot \sqrt{0,02534^2 + 0,31357^2}} = 10,013 \, \text{kA} \quad (6.68)$$

Nadproudová ochrana, přívodní kobka Válcovna AB 6 kV.

Časové nastavení zůstane původní, proudové nastavení nové.

PTP 2500/5/5 A – nové

1. stupeň

rozběhový proud ochrany musí být větší nebo stejný jako největší dovolené provozní zatížení vedení a transformátoru, doporučený rozsah 0,4 až 5 I_n

k_b – přídržný poměr relé 0,95

$$I_n \text{ – největší dovolené zatížení vedení} \quad I_n = \frac{I \cdot U_2}{U_3} = \frac{660 \cdot 23000}{6300} = 2409 \, \text{A} \quad (6.69)$$

k_p – koeficient bezpečnosti 1,1

$$p_i \text{ – převodový poměr traf} \quad \frac{2500}{5} = 500$$

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_i} = \frac{0,95 \cdot 2409}{1,1 \cdot 500} = 4,16 \quad (6.70)$$

$$I_r \geq \frac{I_r}{5} = \frac{4,16}{5} = 0,82 \cdot I_n \quad (6.71)$$

$$I_r \geq 2028 \text{ A}$$

$$I_r = 3000 \text{ A}$$

$$I_r = \frac{I_r}{p_i} = \frac{3000}{500} = 6 \quad (6.72)$$

$$I_r = \frac{I_r}{5} = \frac{6}{5} = 1,2 \cdot I_n \quad (6.73)$$

2. stupeň

rozběhový proud ochrany musí být menší než nejmenší předpokládaný zkratový proud na konci chráněného úseku, doporučený rozsah 0,4 až 40 I_n

I_{kmin} – minimální zkratový proud na konci chráněného úseku 10013 A

k_c – koeficient citlivosti nadproudových ochran 1,5

p_i – převodový poměr traf $\frac{2500}{5} = 500$

$$I_r < \frac{I_{kmin}}{k_c \cdot p_i} = \frac{10013}{1,5 \cdot 500} = 13,35 \quad (6.74)$$

$$I_r < \frac{I_r}{5} = \frac{13,35}{5} = 2,67 \cdot I_n \quad (6.75)$$

$$I_r < 6675 \text{ A}$$

$$I_r = 5500 \text{ A}$$

$$I_r = \frac{I_r}{p_i} = \frac{5500}{500} = 11 \quad (6.76)$$

$$I_r = \frac{I_r}{5} = \frac{11}{5} = 2,2 \cdot I_n \quad (6.76)$$

1. stupeň $1,2 \cdot I_n$ A (3000 A), vypíná 5 A, čas vypnutí 1,7 s

2. stupeň $2,2 \cdot I_n$ A (5500 A), vypíná 11 A, čas vypnutí 0,25 s

Ekvivalentní oteplovací proud

Počítám ekvivalentní oteplovací proud pro kabely z rozvodny T2 22 kV k transformátoru TP2. Místo zkratu mezi transformátorem TP2 a rozvodnou Válcovna AB 6 kV kobka č. 26.

I''_{k3} – maximální rázový zkratový proud, při zkratu v rozvodně 6 kV, při napájení z jednoho transformátoru, přepočítaný na napětí rozvodny T2 22 kV

$$I''_{k3} = \frac{c_{max} \cdot I''_{k3} \cdot U_3}{U_2} = \frac{1,1 \cdot 11562 \cdot 6300}{23000} = 3483 \text{ A} \quad (6.78)$$

$R = 0,02534 \Omega$

$X = 0,31357 \Omega$

f – frekvence sítě 50 Hz

T_k – doba trvání zkratového proudu, vypíná ochranu na vývodu T2 0,1 s

Poměr mezi počátečním rázovým zkratovým proudem a ustáleným zkratovým proudem uvažují:

$$\frac{I''_k}{I_k} = 1 \quad (6.79)$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{0,02534}{0,31357}} = 1,962 \quad (6.80)$$

Hodnoty odečtené z grafu:

$m = 0,2$ (činitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky)

$n = 1$ (činitel pro tepelné účinky střídavé složky)

$$I_{th} = I''_{k3} \cdot \sqrt{m+n} = 3483 \cdot \sqrt{0,2+1} = 3815 \text{ A} \quad (6.81)$$

Kontrola oteplení vodičů při zkratu

S – průřez vodiče 400 mm²

K – součinitel pro určení minimálního průřezu vodičů 94 [8]

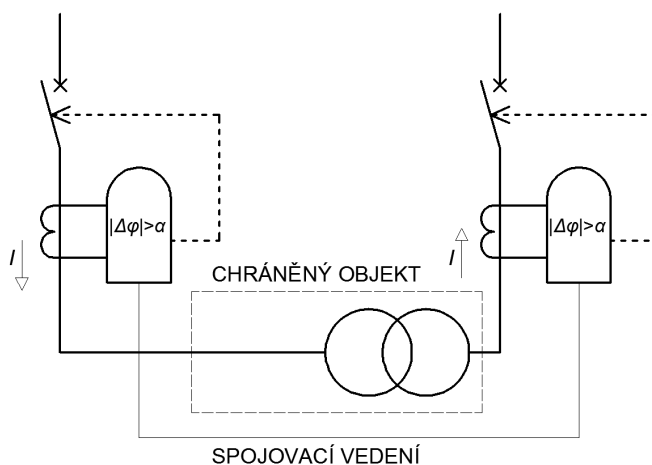
I_{th} – ekvivalentní oteplovací zkratový proud 3815 A

$$t_k \leq \left(\frac{S \cdot K}{I_{th}} \right)^2 = \left(\frac{400 \cdot 94}{3815} \right)^2 = 97 \text{ s} \quad (6.82)$$

Čas působení ochrany při zkratu musí být z hlediska oteplení kabelu kratší než 97 s. - splněno

6.8 Výběr srovnávací ochrany

Srovnávací ochrana – porovnává vstupní a výstupní veličiny chráněného objektu. Ochrana porovná naměřené hodnoty na vstupu a výstupu a pokud je porucha uvnitř chráněného objektu, vypíná na obou stranách chráněného objektu. Ochrany lze rozdělit podle srovnávané veličiny na rozdílové (diferenciální) a fázové srovnávací, dále pak podle způsobu srovnávání na ochrany s přímým srovnáváním a s nepřímým srovnáváním. Využívá se převážně jako hlavní ochrana u důležitějších zařízení a vedení. Výhodou ochrany je rychlé působení, nevýhodou je potřeba srovnávacího vedení při větších vzdálenostech.



Obr. 25 Princip funkce srovnávací ochrany

Vývodní kobka T2 22 kV, kobky 11, stávající stav – srovnávací ochrana:

7SD5025, $I_n=5A$

L1-0: 25 A; L2-0: 11,5 A; L3-0: 25 A

L1-L2: 7,7 A; L1-L3: 25 A; L2-L3: 7,7 A

Vývodní kobka T2 22 kV, kobky 15, stávající stav – srovnávací ochrana:

S103B1, $I_n=5A$

L1-0: 6 A; L2-0: 3,1 A; L3-0: 2,1 A

L1-L2: 6 A; L1-L3: 1,6 A; L2-L3: 1,3 A

Vývodní kobka T2 22 kV, kobky 16, stávající stav – srovnávací ochrana:

7SD5025, $I_n=5A$

L1-0: 24 A; L2-0: 11 A; L3-0: 24 A

L1-L2: 7,3 A; L1-L3: 24 A; L2-L3: 7,3 A

V tomto případě přicházejí v úvahu dva typy ochran ze zásob zadavatele.

Varianta a)

Srovnávací ochrana S103B1 firmy Dohnálek, jedná se o elektromagnetickou ochranu, která porovnává fázové poměry na obou stranách chráněného objektu. Vypíná, pokud změna fáze přesáhne nastavenou hodnotu. Ochrana se doplní translátorem S105U, který odděluje střídavou spojovací cestu od vnitřního zařízení rozvodny. Dále se doplní blokovací relé S105F, které se používá tehdy, pokud ochrana chrání směrové vedení s transformátorem. Blokovací relé odstraní citlivost ochrany na nárazové proudy při zapínání transformátoru. Ochrana se nenastavuje, musí se použít dvě výrobcem spárované ochrany.

Varianta b)

Diferenciální ochrana se dvěma spojovacími vodiči 7SD5025-5BA11 firmy Siemens. Ochrana se v současné době už nevyrábí.

Jmenovitý proud: 5 – 5 A

Jmenovité pomocné napětí: 5 – DC 220 V/ 250 V

Konstrukční provedení: B – Pouzdro 7XP2040, provedení na panel

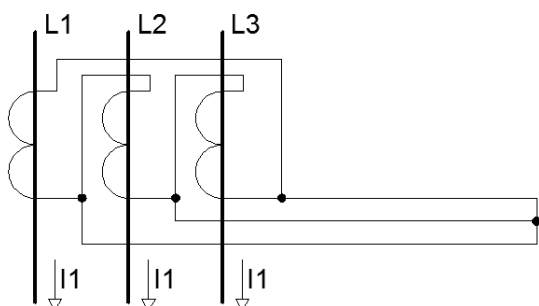
Integrovaný monitoring propojovacích vodičů: 1 – Ano

Sériové systémové rozhraní: C – Ano

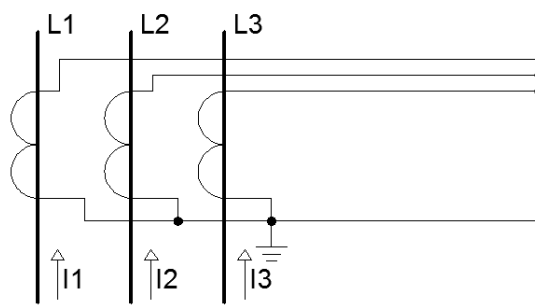
Parametry pro vypnutí ochrany se nechávají přednastavené výrobcem. Nastavují se změřené parametry srovnávacího vedení a převodové hodnoty přístrojových transformátorů proudů.

V obou případech jak při použití S103B1, tak při použití 7SD5025-5BA11 musíme ošetřit, že ochrany chrání jak kabelové vedení, tak i transformátor v zapojení Yd. U zvolených ochran to nelze ošetřit při parametrizaci. Můžeme to ošetřit vhodným zapojením proudových transformátorů, nebo doplněním dalších proudových transformátorů s převodovým poměrem 5/5 A na jedné straně chráněného objektu.

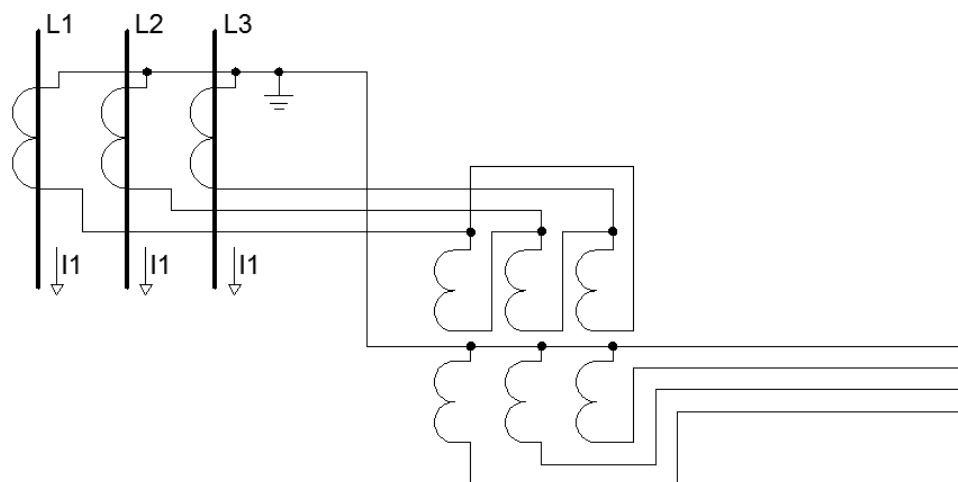
1. STRANA CHRÁNĚNÉHO OBJEKTU



2. STRANA CHRÁNĚNÉHO OBJEKTU



Obr. 26 Možné zapojení proudových transformátorů pro srovnávací ochrany v případě, že chráněným objektem je transformátor Yd.



Obr. 27 Doplnění proudových transformátorů 5/5 A pro srovnávací ochrany v případě, že chráněným objektem je transformátor Yd.

Na konzultacích se zadavatelem bylo rozhodnuto, že se v rozvodně T2 22 kV, kobka č. 15 a Válcovna AB 6 kV, kobka č. 2 vymění stávající ochrany S103B1 za 7SD5025-5BA11 ze zásob zadavatele a srovnávací vedení se ponechá stávající. Ostatní srovnávací ochrany na přívozech z rozvodny T2 22 kV do rozvodny Válcovna 6 kV zůstanou stávající. V rozvodně T2 22 kV jsou v kóbkách 11, 15 a 16 použité proudové transformátory 5/5 A pro srovnávací transformátory. Tyto proudové transformátory zůstanou v zapojení srovnávacích ochran.

7. Ověření nastavení elektrických ochran v rozvodně T2 22 kV

7.1 Stávající nastavení nadproudových ochran

Rozvodna T2 22 kV je dvousystémová, kobkového typu. Je dimenzovaná na zkratový výkon 800 MVA. Při běžném provozu je napájena ze dvou transformátorů T111 a T112 s výkonem 40 MVA 110 /22 kV. Transformátor T112 je určený pro napájení přes rozvodnu T2 rozvodny Válcovna C 6 kV a rozvodna Mír 6 kV. Transformátor T111 je určený pro napájení přes T2 rozvoden Válcovna AB 6 kV, rozvodnu Mír 6 kV, TK1 6 kV a rozvodny 6 kV na teplárně E3.

Rozvodna T2 22 kV byla rekonstruována v roce 2006 a je vybavena vakuovými vypínači. Rekonstrukce přívodu pro rozvodnu Válcovna AB vyvolá v rozvodně T2 22 kV změnu jen v nastavení digitálních ochran a výměnu přístrojových transformátorů proudů TA, TA1, ampérmetrů a jedné srovnávací ochrany.

Pro rozvodnu byl v rámci akce GoMo rozvoden T2 vn a vvn vypracován protokol č. 1-2006 o určení vnějších vlivů vypracovaný odbornou komisí podle ČSN 332000-3 dne 15. 6. 2006, který stanovuje prostory z hlediska úrazu elektrickým proudem pro rozvodnu T2 22 kV nebezpečné a pro vývodový prostor rozvodny T2 22 kV normální.

Přívodní kobka T2 22 kV, kobka 13

Přístrojové transformátory proudu 1250/5/5 A

Nastavení nadproudové ochrany:

1. stupeň: $1,6 \cdot I_n$ A (2000 A), vypíná 8 A, čas vypnutí 2 s
2. stupeň: $2,4 \cdot I_n$ A (3000 A), vypíná 12 A, čas vypnutí 0,2 s

Vývodní kobka T2 22 kV, kobky 11, 15, 16 – nadproudové ochrany

Přístrojové transformátory proudu: 3x 400/5/5 A, 15/30 VA, tř. 0,5/10P, $n < 10/5$

Nastavení nadproudové ochrany 7SJ5125, $I_n = 5$ A:

1. stupeň: $3,17 \cdot I_n$ A (1268 A), vypíná 15,85 A, čas vypnutí 1,8 s
2. stupeň: $19,04 \cdot I_n$ A (7616 A), vypíná 95,2 A, čas vypnutí 0,1 s

Tepelný modul – thermal $I_n = 5$ A, k-faktor: 1,11, vypíná 110 %, čas vypnutí 24 min.



Obr. 29 Pohled na řídící skříň rozvodny T2 22 kV kobka 11



Obr. 30 Pohled na řídící skříně rozvodny T2 22 kV

7.2 Nové nastavení nadproudových ochran

Prívodní kobka T2 22 kV, kobka 13 (zůstává stávající)

Přístrojový transformátor proudu 1250/5/5 A

Nastavení nadproudové ochrany:

1. stupeň: $1,6 \cdot I_n$ A (2000 A), vypíná 8 A, čas vypnutí 2 s
2. stupeň: $2,4 \cdot I_n$ A (3000 A), vypíná 12 A, čas vypnutí 0,2 s

Vývodové kobky T2 22 kV, kobky 11, 15, 16

Nejdříve se stanoví nastavení prvního a druhého stupně nadproudových ochran. Následně čas vypnutí tepelného modulu, chránící transformátor a vedení proti přetížení. Hodnota se volí podle podkladů k transformátorům. Ověří se, zda vyhovuje i kabelovému vedení. Ochrany chrání současně transformátor a vedení. Tepelný modul podle podkladů k transformátoru se může nastavit na hodnotu 110 % po dobu 70 minut.

1. stupeň

$$U_2 = 23000 \text{ V}$$

$$U_3 = 6300 \text{ V}$$

$$p_i = 150 \text{ (750/5/5 A)}$$

$$k_p = 1,2$$

$$I_{VAB6} = 3000 \text{ A}$$

$$I_{T2} = \frac{U_3 \cdot I_{VAB6}}{U_2} \cdot k_p = \frac{6300 \cdot 3000}{23000} \cdot 1,2 = 986 \text{ A} \quad (7.1)$$

$$I_{rT2} \geq \frac{I_{T2}}{P_i} = \frac{986}{150} = 6,57 \text{ A} \quad (7.2)$$

$$I_{rT2} \geq \frac{I_{rT2}}{5} = \frac{6,57}{5} = 1,31 \cdot I_n \quad (7.3)$$

2. stupeň

$$U_2 = 23000 \text{ V}$$

$$U_3 = 6300 \text{ V}$$

$$p_i = 150 \text{ (750/5/5 A)}$$

$$k_p = 1,2$$

$$I_{VAB6} = 5500 \text{ A}$$

$$I_{T2} = \frac{U_3 \cdot I_{VAB6}}{U_2} \cdot k_p = \frac{6300 \cdot 5500}{23000} \cdot 1,2 = 1808 \text{ A} \quad (7.4)$$

$$I_{rT2} < \frac{I_{T2}}{P_i} = \frac{1808}{150} = 12,1 \text{ A} \quad (7.5)$$

$$I_{rT2} < \frac{I_{rT2}}{5} = \frac{12,1}{5} = 2,42 \cdot I_n \quad (7.6)$$

Časy vypnutí zůstávají původní. Jsou selektivní mezi přívodní a vývodovými kobkami. Nadproudové ochrany na začátku vedení a na konci vedení jsou selektivní jen hodnotou proudu o koeficient 1,2. Transformátor a vedení tvoří jeden chráněný úsek. V případě poruchy je důležité ho odpojit a napájet rozvodnu Válcovna AB 6 kV zbývajících dvěma transformátory. Pokud je porucha v chráněném úseku, připojí manipulant rezervní transformátor pod napětí.

Vývodové kobky T2 22 kV, kobky 11, 15, 16

Zůstávají časy vypnutí, nový přístrojový transformátor proudu.

Přístrojový transformátor proudu 750/5/5 A

Nastavení nadproudové ochrany:

1. stupeň: $1,31 \cdot I_n$ A (982 A), vypíná 10,4 A, čas vypnutí 1,8 s

2. stupeň: $2,4 \cdot I_n$ A (1807 A), vypíná 12 A, čas vypnutí 0,1 s

Tepelný modul – thermal $I_n = 5$ A, k-faktor: 1,11, vypíná 110 %, čas vypnutí 70 min.

Ověření nastavení tepelného modulu pro kabely. Proud transformátoru na primární straně při proudu 110 % jmenovité hodnoty.

$$I = 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 627,6 = 690,36 \text{ A} \quad (7.7)$$

Kontrola oteplení vodičů při zatížení transformátoru na 110 % [8]

ϑ_m – teplota vodiče (°C) v čase t

ϑ_0 – teplota okolí vodiče (°C)

$\Delta\vartheta$ – oteplení vodiče (K) za čas t

$\Delta\vartheta_Z$ – dovolené oteplení vodiče (K)

I_m – proud protékající vodičem (A)

I_Z – dovolená proudová zatížitelnost vodiče (660 A)

τ – oteplovací konstanta vodiče (1443 s)

t – doba, po kterou protéká proud vodičem (70 min = 4200 s)

$\vartheta_{\max} = 90$ °C – maximální teplota kabelu podle katalogu

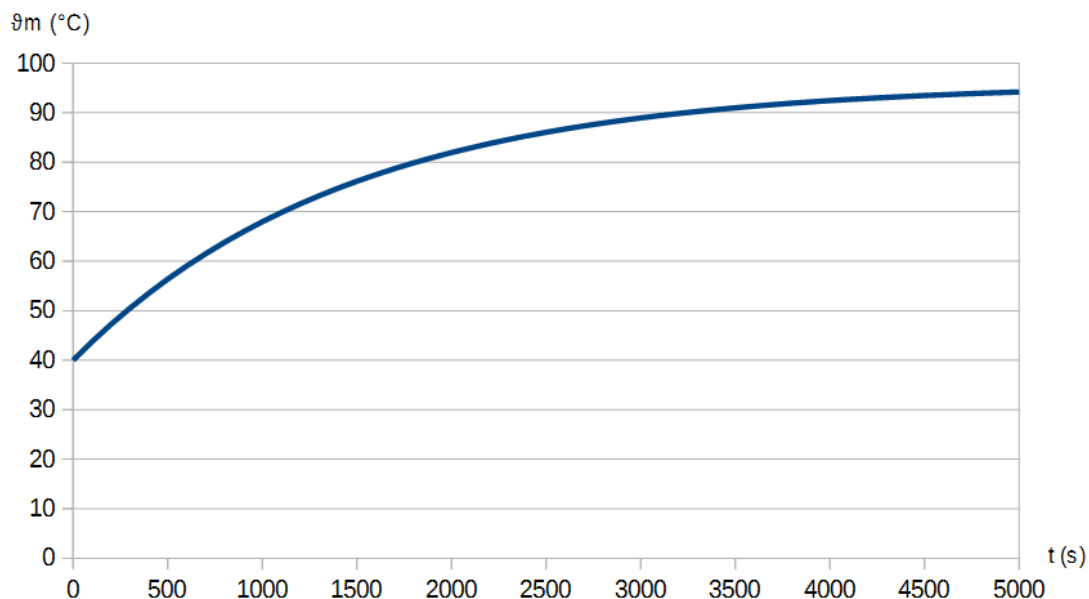
$\vartheta_0 = 40$ °C – horní hodnota rozsahu teplot z návrhu protokolu vnějších vlivů

$$\Delta\vartheta_Z = \vartheta_{\max} - \vartheta_0 = 90 - 40 = 50 \text{ °C} \quad (7.8)$$

$$\Delta \vartheta = \Delta \vartheta_z \cdot \left(\frac{I_m}{I_z} \right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = 50 \cdot \left(\frac{690,36}{660} \right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{4200}{1443}} \right) = 52,87^\circ\text{C} \quad [8] \quad (7.9)$$

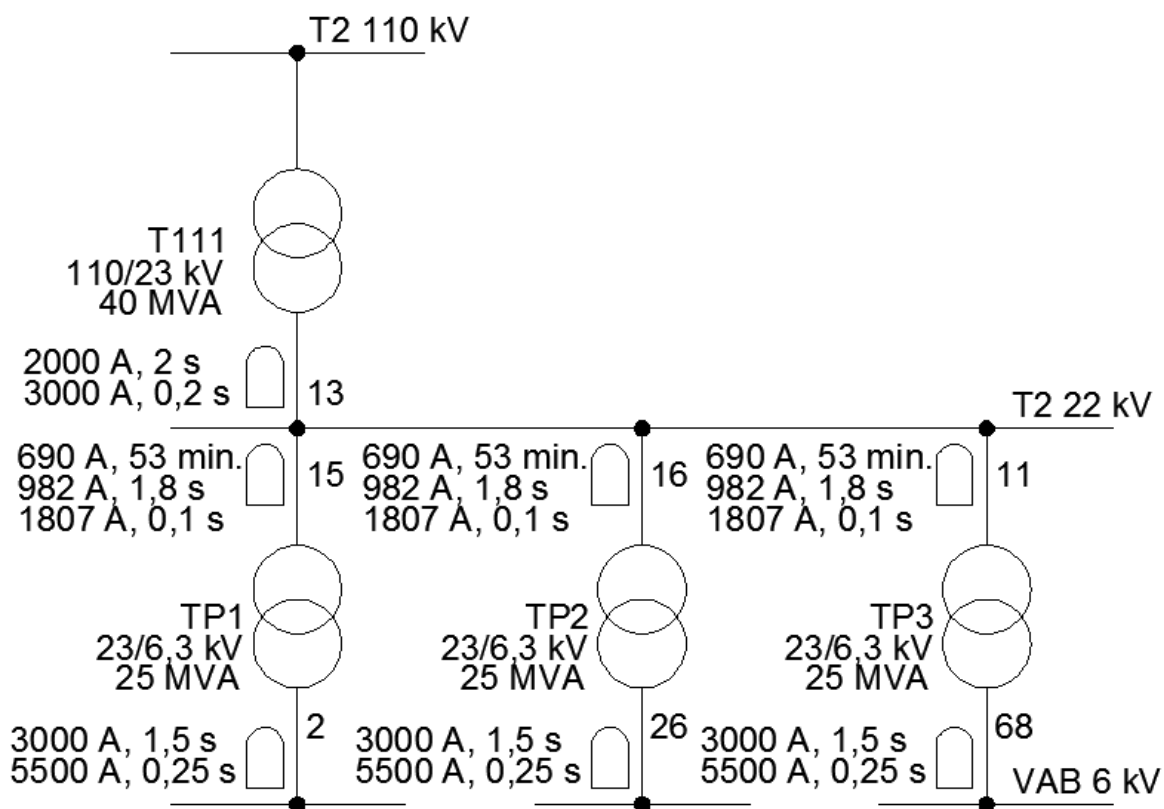
$$\vartheta_m = \vartheta_0 + \Delta \vartheta = 40 + 52,87 = 92,87^\circ\text{C} \quad (7.10)$$

$\vartheta_m < \vartheta_{\max}$ ($92,87 > 90$) – překročeno



Obr. 31 Průběh oteplení pro zvolený kabel v závislosti na době nadproudu

Vykreslení teploty kabelu jako funkce času. Odečtem z grafu nebo výpočtem zjistíme, že k nárůstu teploty nad 90°C nedojde v čase do 3200 s, to je 53 minut a 20 s. Čas vypnutí tepelného modulu se sníží ze 70 na 53 minut, aby vyhovoval transformátorům i kabelům, které tvoří jeden chráněný objekt.



Obr. 32 Časy vypnutí pro jednotlivé ochrany

8. Odhad celkových nákladů na rekonstrukci

a) Výměna přístrojů v rozvodně T2 22 kV	
18x přístrojové proudové transformátory – (průchodkové i podpěrné)	144 000 Kč
montáž přístrojových proudových transformátorů –	45 000 Kč
3x průchodová deska vnitřní –	3300 Kč
Celkem –	192 300 Kč
b) Rekonstrukce kabelového přívodu mezi rozvodnami T2 22 kV a Válcovna AB 6 kV	
kabel 3x 22-AXEKVCEY 1x 400/35 mm ² (T2 – TP1) –	2 401 203 Kč
kabel 3x 22-AXEKVCEY 1x 400/35 mm ² (T2 – TP2) –	3 430 290 Kč
kabel 3x 22-AXEKVCEY 1x 400/35 mm ² (T2 – TP3) –	3 430 290 Kč
uložení kabelů (50 Kč · m ⁻¹) –	1 012 500 Kč
kabelové koncovky (340 Kč za kus) –	6 120 Kč
kabelové příchytky s konzolí (500 Kč za kus) –	1 350 000 Kč
demontáže stávajících kabelů –	270 000 Kč
demontáže stávajících příchytok –	303 750 Kč
protipožární přepážky	12 000 Kč
Celkem –	12 216 153 Kč
c) Výměna výkonových transformátorů	
3x výkonový transformátor DOT 25000/25; 25 MVA –	26 250 000 Kč
montáž transformátorů –	1 200 000 Kč
Celkem –	27 450 000 Kč
d) Rekonstrukce přírodních kobek rozvodny Válcovna AB 6 kV	
propoj mezi transformátorem TP1 a kobkou –	300 000 Kč
propoj mezi transformátorem TP2 a kobkou –	300 000 Kč
propoj mezi transformátorem TP3 a kobkou –	300 000 Kč
rekonstrukce kobky č. 2 rozvodny Válcovna AB 6 kV –	750 000 Kč
rekonstrukce kobky č. 26 rozvodny Válcovna AB 6 kV –	750 000 Kč
rekonstrukce kobky č. 68 rozvodny Válcovna AB 6 kV –	750 000 Kč
Celkem –	3 150 000 Kč

Při odhadu nákladů byly použité ceny bez DPH, nezahrnuje parametrizaci ochrany, zkoušky a revize.

9. Analýza diplomové práce

Analýza SWOT je jeden ze základních managerských nástrojů, který má široké univerzální uplatnění a jednoduchá pravidla. Není to nástroj pro přímé rozhodování ani nástroj pro kompletní analýzu, ale podklad, který umožní se nad problémem zamyslet a vyvodit důsledky. Výhodou je nízká časová náročnost na sestavení. Nejčastěji se využívá k vyhledání nových příležitostí a nebezpečí. Název analýzy je složený z počátečních písmen anglických slov Strengths (silné stránky), Weaknesses (slabé stránky), Opportunities (příležitosti) a Threats (hrozby).

SWOT		
Přednosti	Silné stránky	Příležitost
	Výpočty zkratových poměrů, včetně postupů. Návrh reálného zapojení řídicí skříně vn kobky. Návrh silové části kobky.	Použit distribuovaný řídicí systém s optickými propoji. Dálkový odečet elektroměrů. Dálkové ovládání rozvodny.
Nedostatky	Slabé stránky	Hrozby
	Neřeší se komplexně celá rozvodna. Nejedná se o plnohodnotný projekt. Program v jazyce Python nezahrnuje všechny technické výpočty.	Neřešená trafokobka a trasa mezi transformátorem a kobkou. Možná změna technologie odběratele. Neřešené dynamické účinky.
	Vnitřní	Vnější

10. Závěr

Na začátku práce jsem nejdříve obecně seznámil čtenáře s průmyslovými rozvody a jejich požadavky, následně s ochranami v rozvodu a výpočtem zkratových proudů. V další části jsem popsal stávající stav rozvodny Válcovna AB 6 kV. Poté jsem vybral vhodné výkonové transformátory pro napájení rozvodny tak, aby vyhověly požadavkům zadavatele.

Dále jsem vybral vhodné kabely pro napájení transformátorů a dopočítal zkratové proudy. Navrhl jsem silovou část vn kobky přívodu, řídicí skříň kobky, protokol o prostředí, který zahrnuje vn rozvodnu Válcovna AB 6 kV, vývodový prostor, trafokobky a enegromost, výměnu proudových transformátorů v rozvodně T2 22 kV, odhadl náklady na rekonstrukci a navrhl nové nastavení ochran.

Některé technické výpočty jsem počítal rovněž ve skriptovacím jazyku Python, abych si ověřil jeho použití pro praxi. Nejvíce mi vyhovoval jednoduchý postup při práci s komplexními čísly a snadnost vykreslení průběhu zkratových proudů.

Diplomová práce byla vypracována podle zadání z firmy ENERGETIKA TRINEC, a. s., postup při jejím vypracování byl konzultován se zástupci zadavatele. Téma práce nezahrnuje rekonstrukci celé rozvodny, ale jen přívodů. Práce může sloužit jako jeden z podkladů pro zvážení potřeby rekonstrukce a jejího provedení.

Při této práci jsem si ověřoval své znalosti pro projektování vn rozvoden, rozvodů a potřebné znalosti pro technické výpočty v bezplatně dostupném software.

11. Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] *Výroční zpráva 2012, ENERGETIKA TŘINEC, AKCIOVÁ SPOLEČNOST*, Ostrava: AHA TRADING, s. r. o., 2013. 87 s.
- [2] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. Ostrava: Vydala VŠB-TU Ostrava vydavatelství Montanex, 2008.
- [3] MEDVEC Zdeněk. *Přechodové jevy v elektrizačních soustavách. Návody do cvičení*. Skriptum VŠB-TU Ostrava, 2001.
- [4] KRYCHTÁLEK, Zbyněk. *Elektrické stanice*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. 413 s.
- [5] SANTARIUS, Pavel. *Elektrické stanice a vedení*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1990, 214 s. ISBN 80-707-80320.
- [6] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet proudů*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2002.
- [7] ČSN 33 3051. *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1992.
- [8] ČSN 332000-4-41 ed. 2. *Elektrická instalace nízkého napětí – Část 4-43: Bezpečnost – Ochrana před nadproudy*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2010.
- [9] NKT CABLES. *Produkty: vn kabely a přísl. (do 50 kV)* [online]. 2014 [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <http://www.nktcables.com/cz/products/medium-voltage/>
- [10] SAMIEC, Igor. SPRÁVA DMZ, TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s. *Digitální mapa závodu TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a. s.* [CD-ROM]. 2013 [cit. 2013-12-08].
- [11] GEODIS BRNO, s.r.o. *Letecká mapa* [online]. 2014 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>
- [12] PowerWiki Elektroenergetika. VOKÁL, Josef. *Výpočty zkratů v technické praxi* [online]. 2012 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: http://www.powerwiki.cz/attach/PrilohyVyuka/Vok_%20zkrat_%20prednaskaFEL.pdf

[13] TRASFOR S.A.: Dokumenty ke stažení. *Srovnání ekonomické výhodnosti transformátorů s různými ztrátami* [online]. 2012 [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <http://www.trasfor.cz/documents/Naklady1.pdf>

[14] ELPRO-ENERGO. *Nabídka č. 114 0090: Rekonstrukce válcovny AB - studie*. Elpro-Energo s. r. o. Třinec, 24. 1. 2014.

Použitý software

EPLAN Electric P8 [CD-ROM]. Ver. 2.3 - Select. EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG. 2013. Počítačový program pro projektování v elektrotechnice a energetice.

AutoCad LT [CD-ROM]. Ver. 2014 SP1. Autodesk, Inc. 2013. Počítačový program pro přesné kreslení ve 2D.

Gimp [online]. Ver. 2.8.6. Spencer Kimball. 2013. Počítačový program pro úpravu rastrové grafiky. Dostupné z: <http://www.gimp.org>

LibreOffice [online]. Ver. 4.2.1.1. The Document Foundation. 2014. Počítačový program – Sada kancelářských nástrojů. Dostupné z: <https://cs.libreoffice.org/download>

Portable Python [online]. Ver. 3.2.5. Python Software Foundation. 2013. Přenositelná verze objektově orientovaného skriptovacího jazyku Python. Dostupné z: <http://portablepython.com/wiki/Download>

12. Seznam příloh

Příloha č. I: Schéma napojení rozvoden T2 6 kV a Válcovna AB 6 kV – stávající stav (1x A2)

Příloha č. II: Jednopolové schéma rozvodny T2 22 kV (3x A4)

Příloha č. III: Jednopolové schéma rozvodny Válcovna AB 6 kV (7x A4)

Příloha č. IV: Situační schéma, rozvodna Válcovna AB 6 kV +13,00 m (1x A3)

Příloha č. V: Situace kabelových tras, rozvodna T2 22 kV – Válcovna AB 6 kV (1x A1)

Příloha č. VI: Rozvodna Válcovna 6 kV, kobka č. 2, Řídící skříň (27x A4)

Příloha č. VII: Řez kobkou přívodu, rozvodna Válcovna AB 6 kV, kobka č. 2 (1x A3)

Příloha č. VIII: Výpis programu výpočtů zkratů, rozvodna Válcovna AB 6 kV
ve skriptovacím jazyku Python (6x A4)

Příloha č. IX: CD-ROM s digitální verzí diplomové práce (1x CD-ROM)